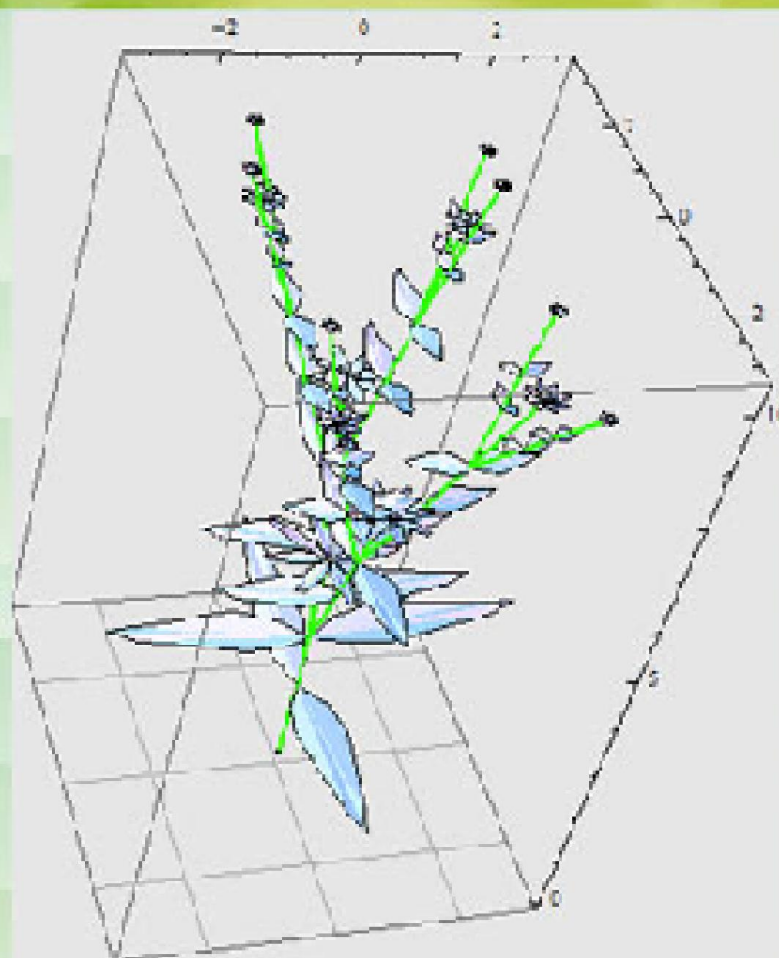




ILUSTRASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN BERBASIS LINGKUNGAN

PENDEKATAN JARINGAN SARAF TIRUAN



Dr. Suhartono, S.Si, M.Kom

**ILUSTRASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN
BERBASIS LINGKUNGAN**

(Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan)

© UIN-Maliki Press, 2018

All right reserved

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun, tanpa izin tertulis dari Penerbit

Penulis :

Dr. Suhartono, S.Si, M.Kom

Editor :

Syahiduz Zaman, M.Kom

Cetakan Ke-2, Maret 2018

viii+116 hlm, 15,5 x 23 cm

ISBN : 9786021190944

Diterbitkan oleh

UIN-MALIKI PRESS

(Anggota IKAPI)

Jalan Gajayana 50 Malang 65144

Telepon/Faksimile (0341) 573225

<http://www.uinmalikipress.com>

K A T A P E N G A N T A R

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan anugerah hingga penulisan dapat menyelesaikan buku dengan judul “ILUSTRASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN BERBASIS LINGKUNGAN (Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan)” ini. Tak lupa, salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad shalallahu alaihi wassalam.

Pembahasan pendekatan Genetic Programming L-System dan Fuzzy Mamdani telah dilakukan oleh peneliti dalam laporan disertasi. Sangatlah pantas pada kesempatan ini penulis memberikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Segenap pimpinan Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang: Bapak Prof Dr Abdul Haris M Ag (Rektor)
2. Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Ph.D. , Mochamad Hariadi, S.T, M.Sc, Ph.D. dan Ali Mahmudi B.Eng Ph.D dari beliau, penulis memperoleh banyak dorongan semangat dan nasehat.
3. Istri tercinta Ari Asri Vita. S.P, dan anak tercinta Athaula Dawam Wisesa atas doa dan dukungan.
4. Direktur Pendidikan Tinggi Islam Kemenag RI yang telah memberikan bantuan publikasi ilmiah ilmiah PTAI (PNS) tahun anggaran 2012
5. Seluruh karyawan dan dosen Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Malang.
6. Seluruh karyawan dan dosen Jurusan Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Malang.
7. Seluruh karyawan dan dosen Program Pendidikan Inovasi Bisnis dan Teknologi (PROBISTEK) Ulul Albab UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu selama melakukan kegiatan penulisan buku ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan memberi rahmat anda semua.

Sebagai penutup dari kata pengantar ini, penulis mengharapkan buku ini ikut menjadi setetes air di tengah samudera pemikiran tentang metode pemodelan pertumbuhan tanaman.

Penulis sepenuhnya insyaf akan ketidaksempurnaan di sana-sini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca tentu sangat berharga bagi penulis demi perbaikan di masa yang akan datang.

Malang, 21 Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.5 Susunan Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>L-System</i>	6
2.2 Penulisan berulang	6
2.3 Deterministic And Context Free L-System (DOL-System). ..	7
2.4. Bracketed L-system.....	8
2.5 Context Sensitive L-System	9
2.6 Representasi grafik terhadap huruf dalam <i>L-System</i>	10
2.7 Klasifikasi Tanaman <i>Zinnia</i>	11
2.8 Botani Tanaman <i>Zinnia</i>	11
2.9. Persyaratan tumbuh	12
2.10 Pembungaan.....	12
2.11 Penamaan	13
2.12 Pemeliharaan.....	13
2.13 Pemupukan.....	13
2.13 Pembungaan.....	13
2.14 Fungsi Pertumbuhan	16
2.15 Struktur Percabangan Tanaman <i>Zinnia</i>	17
BAB III MODEL TANAMAN ZINNIA VIRTUAL DENGAN L- SYSTEM	19
3.1 Bahan dan Alat	20
3.2 Pengamatan	20
3.3 Struktur Pemodelan Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i> Dengan Metode <i>L-System</i>	21
3.4 Koleksi Data Tanaman <i>Zinnia Elegans</i>	22
3.5 Desain <i>L-System</i> Untuk Tanaman <i>Zinnia</i>	24
3.6 Model Kualitatif.....	26
3.7 Model Kuantitatif.....	27
3.8 Model tanaman <i>zinnia</i>	29
3.9 Visualisasi Model Kuantitatif	30
3.9 <i>Fitness</i>	34
3.10 Evaluasi Model	34
BAB IV PENDEKATAN JARINGAN SARAF TIRUAN	35
4.1 Data Percobaan	35
4.2 Metodologi penelitian.....	36
4.3 Pengamatan	37

4.4	<i>Jaringan saraf tiruan</i>	40
4.5	Pendekatan <i>Artificial Neural Network</i> Pada Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i> Pengaruh Pemberian Pupuk.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran-saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN A		59
INDEKS		64

Variational evolution is the concept represented by Darwin's theory of evolution through natural selection. According to this theory, an enormous amount of genetic variation is produced in every generation, but only a few survivors of the vast number of offspring will themselves reproduce. Individuals that are best adapted to the environment have the highest probability of surviving and producing the next generation. Mayr 1997, p. 176

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan tanaman dapat dinyatakan dengan perkembangan morfologi tanaman, yaitu penambahan ukuran organ-organ tanaman. Bentuk dari pertumbuhan tanaman dapat dinyatakan sebagai tinggi tanaman, panjang batang, diameter batang, lebar daun, panjang daun dan diameter bunga, perubahan tunas menjadi tangkai (Gardner, 1985)

Pertumbuhan tanaman dapat dipengaruhi oleh faktor tanaman itu sendiri dan faktor lingkungan di sekitar tanaman itu sendiri. Pada faktor tanaman itu sendiri dapat diperlihatkan dengan meningkatnya hasil yang berasal dari penggunaan tanaman yang unggul. Pertumbuhan tanaman pada beberapa varietas tanaman menampilkan perbedaan respon terhadap faktor lingkungan. Salah satu faktor lingkungan adalah pemberian pupuk, ekspresi potensial genetik dapat terlihat pada pemberian variasi komposisi pupuk (Atif Riaz, dkk, 2008).

Aristid Lindenmayer menjelaskan teori pertumbuhan sel *anabaena catenula* menggunakan sistem penulisan berulang (*rewriting system*) yang dilakukan secara paralel menggunakan aturan gramatikal yang disebut sebagai *L-System* (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Kemudian *L-System* banyak diterapkan untuk pemodelan berbagai jenis tanaman antara lain tanaman rumput, tanaman padi, tanaman tomat dan tanaman pohon

(Prusinkiewics. P, dkk, 2003; Pachepsky. L.B, dkk, 2004; Hirafuji. M, 1991; Somporn.C.A, 2004; Suhartono, dkk, 2011).

Pemodelan pertumbuhan tanaman dengan menggunakan *L-System* dapat dilihat sebagai pertumbuhan tanaman virtual. Pertumbuhan tanaman ini telah disinggung dalam Al Quran dalam banyak ayat, salah satunya adalah surat An Nahl ayat 11.

Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, korma, anggur dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan.(QS. An-Nahl: 11)

Menurut tafsir Departemen Agama, ayat ini menyatakan bahwa karena hujan itu pulalah Allah SWT menumbuhkan tanam-tanaman yang buahnya dapat memenuhi kebutuhan hidup mereka dari jenis rumput-rumputan, manusia dapat memperoleh bahan makanan dan zaitun mereka dapat memperoleh rempah-rempah, dan dari kurma dan anggur mereka dapat memperoleh buah-buahan sebagai penambah lezatnya makanan mereka, kemudian disebut pula segala macam buah-buahan, agar manusia dapat mengetahui kekuasaanNya yang tidak terbatas, yaitu dari air yang sama Allah SWT berkuasa menumbuhkan tanam-tanaman yang beraneka ragam dan mengeluarkan buah-buahan yang beraneka ragam bentuk, warna dan rasanya. Segala macam tumbuh-tumbuhan yang menghasilkan bahan pemenuhan kebutuhan hidup mereka, adalah nikmat yang diberikan oleh Allah SWT dan sekaligus sebagai bukti keesaan Tuhan bagi orang yang mengingkariNya. Pada akhir ayat Allah SWT menandakan bahwa segala macam nikmat yang diturunkan baik secara langsung ataupun tidak langsung adalah merupakan bukti-bukti kebenaran bahwa sesungguhnya tidak ada Tuhan kecuali Allah SWT. Bukti-bukti itu dapat diketahui oleh orang-orang yang memperhatikan dan memikirkan tanda-tanda kekuasaan Tuhan serta memikirkan

hukum-hukum yang berlaku di dalamnya. Bukti-bukti kekuasaan Tuhan yang terdapat di kolong langit ini cukup memberikan kepuasan pada orang yang benar-benar memperhatikan kekuasaanNya dan cukup kuat untuk mempercayai keesaanNya, misalnya orang yang memperhatikan biji-bijian, baik biji tunggal ataupun yang berkeping dua, yang terletak di permukaan tanah yang dibasahi oleh embun, lama kelamaan merekalah biji itu dan keluarlah akarnya menembus permukaan bumi, kemudian tumbuh batang dan dedaunan terus berkembang menjadi besar berbunga dan berbuah. Satu hal yang menarik perhatian ialah biji-bijian yang hampir sama menghasilkan tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam dan menghasilkan buah-buahan yang bermacam-macam bentuk warna dan rasanya. Orang yang demikian tentunya akan melihat bahwa pencipta dari segala macam tumbuh-tumbuhan itu ialah Zat Yang Maha Sempurna yang tidak bisa disaingi oleh zat-zat yang lain. Dialah yang berhak dipertuhan dan berhak disembah.

Itulah penjelasan tafsir ayat di atas, untuk membantu memahami makna yang terkandung di dalamnya menjelaslah bahwa Allah SWT menyuruh manusia untuk memikirkan kekuasaan Allah SWT dan tanda-tanda kekuasaan Allah SWT yang diantaranya yang disebutkan pada ayat di atas berupa tanaman-tanaman pertanian. Sungguh dalam pertanian banyak tanda-tanda kebesaran Allah, perhatikanlah dan renungkanlah betapa kuasanya Allah SWT yang telah menumbuhkan tanaman dari dalam tanah dari berupa benih, mengembangkan dan menumbuhkannya hingga akhirnya menjadi tanaman yang bisa dipanen. Apalagi kalau direnungi lagi proses tersebut secara lebih mendalam, bagaimana proses yang terjadi di dalamnya, reaksi-reaksi kimia yang berlangsung di dalamnya maka makin menunjukkan kepada tanda-tanda kekuasaan Allah. Perhatikanlah bagaimana tanaman itu tumbuh, berbuah dan bagaimana rasanya ?

Seandainya tanpa kekuasaan, pengaturan dan limpahan rizki dari Allah maka tidaklah tanaman itu akan tumbuh dan berkembang, karena tanaman itu tidak mempunyai kekuasaan atas dirinya sendiri kecuali dari kekuasaan Allah, sehingga sebenarnya tidaklah tanaman itu tumbuh dan berkembang sendiri. Sebagaimana dalam firman Allah SWT dalam surat Yunus ayat 31 yang berbunyi:

Katakanlah: "Siapakah yang memberi rezki kepadamu dari langit dan bumi, atau siapakah yang Kuasa (menciptakan) pendengaran dan penglihatan, dan siapakah yang mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup [689] dan siapakah yang mengatur segala urusan?" Maka mereka akan menjawab: "Allah". Maka Katakanlah "Mengapa kamu tidak bertakwa kepadaNya) ? " (QS. Yunus: 31)

[689] Sebagian *Mufassirin* memberi misal untuk ayat ini dengan mengeluarkan anak ayam dari telur, dan telur dari ayam adalah menurut hukum Allah SWT.

Sesungguhnya Allah SWT tidaklah dalam mengatur pertumbuhan itu dengan sembarangan, tetapi mempunyai suatu ukuran tertentu atau mempunyai sistem tertentu dalam menumbuhkan tanaman tersebut. Sebagaimana firman Allah SWT pada surat Al Qamar ayat 19:

Sesungguhnya kami Telah menghembuskan kepada mereka angin yang sangat kencang pada hari nahas yang terus menerus. (QS. Al Qamar: 19)

Dalam penciptaan itu ukuran-ukuran atau sistem pembentuk pertumbuhan tanaman itu manusia tidak mengetahuinya, tetapi manusia hanya bisa mempelajari bagaimana faktor-faktor pertumbuhan itu, apa saja yang diperlukan dalam pertumbuhanserta dimana saja tanaman itu bisa tumbuh. Semua faktor-faktor yang mendukung dalam pertumbuhan itu merupakan suatu sistem yang rapi yang mana manusia tidak mampu untuk menciptakannya, akan tetapi manusia hanya bisa memodelkan semua sistem itu dalam bentuk simulasi.

1.2 Susunan Penulisan

Penulisan buku penelitian ini terdiri dari lima bab. Bab 1 adalah pendahuluan dan susunan penulisan. Pada Bab 2 kajian yang terkait dengan topik penelitian terdiri dari teori tanaman zinnia; *L-System*, *Rewriting System Deterministic, context free L-System (DOL-System)*, *Bracketed L-System*; pertumbuhan Tanaman zinnia, Bab 3 diuraikan tentang membuat model tanaman *zinnia* dengan *L-System*. Bagaimana mengidentifikasi pertumbuhan tanaman *zinnia* terhadap pemberian variasi komposisi pupuk dengan metoda *Jaringan saraf tiruan*s pada Bab 4. Bab 5 adalah kesimpulan penelitian dan saran untuk peneliti selanjutnya.

Natural selection is the process by which the forms of organisms in a population that are best adapted to the environment increase in frequency relative to less well adapted forms over a number of generations. Charles Darwin ... was the first to see that this process can explain both evolution and adaptation. Ridley 1996

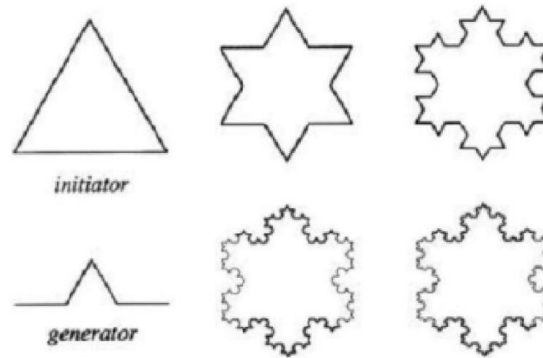
BAB II *L-SYSTEM*

2.1 *L-System*

L-System adalah suatu aturan formal, disusun sebagai gramatika dalam bentuk aksioma dan aturan produksi. Produksi pada *L-System* dilakukan secara paralel, simultan dan proses penulisan produksi berulang. Simbol-simbol dalam *L-System* digunakan untuk merepresentasikan bentuk 3D tanaman. Aturan produksi ini sesuai dengan motivasi biologi, dimana produksi adalah pertumbuhan tanaman dalam bentuk diferensiasi sel dan morfogenesis.

2.2. Penulisan berulang

Penulisan berulang adalah teknik pembentukan objek secara kompleks dengan cara mengganti objek dengan sub bagian objek (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Dapat dicontohkan pada pembentukan *snowflake curve* oleh von koch (Prusinkiewics.P, dkk, 1990). Pada pembentukan *snowflake curve* terdapat dua bagian yaitu *initiator* dan *generator*. Proses penulisan berulang pada pembentukan *snowflake curve* adalah menerapkan *generator* pada *initiator*, proses dilanjutkan dengan menerapkan *generator* pada hasil yang terakhir, dan seterusnya. Dapat disimbolkan jika digunakan \triangle sebagai *initiator* dan \wedge sebagai *generator*. Setelah satu iterasi didapat \star , kemudian proses selanjutnya mengganti setiap baris dengan *generator*, dapat di lihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konstruksi dari kurva snowflake(Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.3. *Deterministic And Context Free L-System (D0L-System)*

D0L-System (artinya D0: *deterministik* artinya adalah dengan tidak ada konteks) adalah jenis *L-System* yang paling sederhana. Secara formal *D0L-System* adalah $L=(\Sigma, \alpha, P, T)$, komponen *D0L-System* terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Σ adalah alphabet dimana $\Sigma=(\delta_1, \dots, \delta_n)$, setiap simbol alphabet mewakili unit morfologi dari tanaman seperti *sprout, stalk, leaf, bloom*
2. α adalah string awal, disebut sebagai aksioma
3. $P=(p_1, \dots, p_n)$, sebuah set produksi dengan aturan penulisan berulang.
4. T adalah interpretasi grafik untuk menggambarkan objek seperti titik, garis, polygon, translasi.

L-System pada himpunan $L=(\Sigma, \alpha, P, T)$ dapat menghasilkan urutan sintak sebagai berikut:

$$\Sigma = \{ a, b, c, d, e \}$$

$$\omega = abc$$

$$P_1: a \rightarrow bc$$

$$P_2: c \rightarrow ae$$

Maka dapat dihasilkan urutan string sebagai berikut:

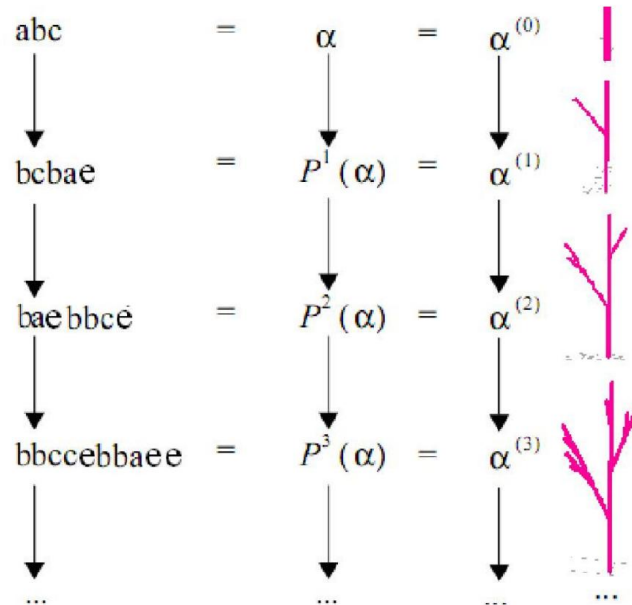
$$\text{Axiom} : abc$$

$$\text{Iterasi 1} : bcbac$$

Iterasi 2 : baebbbce

Iterasi 3 : bbccebbbaee

Pada gambar 2.2 dapat di ilustrasikan antara sintaks sampai interpretasi grafik untuk menggambarkan objek tanaman.



Gambar 2.2 Proses *Rewriting* dengan *D0L-System* dan interpretasi geometri untuk axiom abc dan produksi $a \rightarrow bc$ dan $c \rightarrow ac$. (Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.4. *Bracketed L-system*

Pada *L-System* untuk menjelaskan percabangan pada tanaman menggunakan *string* [] (Lindenmayer. A, 1968), dapat diartikan bahwa *string* [adalah menentukan awal dari proses percabangan sedangkan *string*] adalah menentukan akhir dari proses percabangan (Prusinkiewics.P dkk, 1990). Contoh proses percabangan dapat dilihat sebagai berikut :

Axiom : A

$A \rightarrow I [A] [A] I A$

$I \rightarrow II$

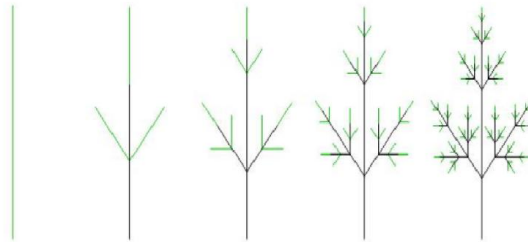
Maka dapat dihasilkan urutan string sebagai berikut:

Axiom : A

Iterasi 1 : I [A] [A] I A

Iterasi 2 : II [I [A] [A] I A][I [A] [A] I A] III [A] [A] IA
 Iterasi 3 : II II [I [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] II I [A] [A] I A] [
 II [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] II I [A] [A] I A] II II
 II [I [A] [A] I A] [I [A] [A] I A] II I [A] [A] I A

Jika simbol A dapat diartikan sebagai *Apex* garis berwarna hijau dan simbol I adalah *Internode* garis berwarna hitam, simbol [] adalah percabangan, maka interpretasi grafik dari proses percabangan tanaman sederhana adalah iterasi pertama adalah sebagai garis lurus dari satuan panjang warna hijau, pada iterasi kedua kedua *Internode* direpresentasikan sebagai garis lurus dari satuan panjang warna hitam seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur percabangan yang dihasilkan oleh Axiom A , produksi $A \rightarrow I[A][A]IA$ dan produksi $I \rightarrow II$ (Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.5 Context Sensitive L-System

Jenis *L-System* kedua adalah *Context Sensitive L-System*. Pada *Context Sensitive L-System* terdapat dua aturan produksi, pertama untuk aturan produksi *2L-System* adalah terdapat dua produksi untuk satu *context*, contoh terdapat sintak $a_1 < a > a_r \rightarrow x$ maka sintak a dapat memproduksi huruf x jika dan hanya jika kondisi a adalah diantara a_1 dan a_r , kedua untuk aturan produksi *1L-System* adalah hanya satu produksi untuk satu *context*, contoh $a_1 < a \rightarrow x$, yaitu huruf a dapat memproduksi huruf x jika kondisi a adalah setelah a_1 atau contoh $a > a_r \rightarrow x$ maka sintak a dapat memproduksi huruf x jika kondisi a adalah setelah a_r .

Axiom :baaaaaaaaa
 Produksi 1 : $b < a \rightarrow b$
 Produksi 2 : $b \rightarrow a$

dapat dihasilkan urutan string sebagai berikut:

Axiom : baaaaaaaa
 Iterasi 1 : abaaaaaaaa
 Iterasi 2 : aabaaaaaaaa
 Iterasi 3 : aaabaaaaaa
 Iterasi 4 : aaaabaaaa

dapat dilihat pada Gambar 2.4.

ω : baaaaaaaa
 p_1 : $b < a \rightarrow b$
 p_2 : $b \rightarrow a$

 baaaaaaaa
 abaaaaaaaa
 aabaaaaaaaa
 aaabaaaaaa
 aaaabaaaa
 ...

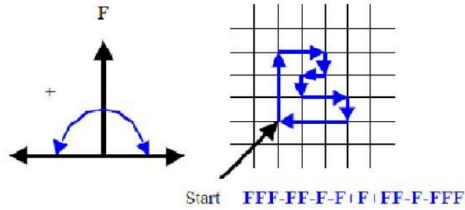
Gambar 2.4 Contoh dari aturan produksi dari *Context Sensitive L-System*

(Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.6 Representasi grafik terhadap huruf dalam *L-System*

Simbol alphabet pada *L-System* adalah dibentuk berdasarkan pertumbuhan tanaman. Simbol alphabet tersebut dapat direpresentasikan bentuk grafik 3D. Representasi bentuk grafik 3D dari simbol alphabet pada *L-System* disebut grafik *turtle*. Oleh karena itu grafik *turtle* dapat bergerak pada berbagai arah, kearah depan, kearah kanan maupun kearah kiri. Untuk menjelaskan grafik *turtle*, misalkan terdapat contoh 3 simbol yaitu F, + dan -, dimana untuk simbol F adalah sebuah panjang dari bagian tanaman yang bergerak pada berbagai arah, arah pergerakan dengan arah putaran jam dinyatakan sebagai

simbol + dan arah sebaliknya sebagai simbol -. Pada gambar 2.5 terlihat arah pergerakan panjang dari tanaman.



Gambar 2.5 Grafik Arah Pergerakan (Prusinkiewics.P, dkk, 1990)

2.7. Klasifikasi Tanaman Zinnia

Zinnia elegans yang lebih dikenal sebagai kembang kertas memiliki susunan klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Devisio : Tracheophyta
Klas : Angiospermae
Subklas : Dicotyledons
Ordo : Asterales
Famili : Asteraceae/ Compositae
Genus : Zinnia
Species : Zinnia elegans Jacq

Tanaman Kembang Kertas atau *Zinnia Elegans* merupakan salah satu jenis tanaman hias yang telah lama dikenal dan banyak disukai masyarakat serta mempunyai nilai ekonomi yang tinggi (Lydia Kristi, dkk, 1998). Disamping memiliki keindahan karena keragaman bentuk dan warnanya. bunga *zinnia elegans* juga memiliki kesegaran yang relatif lama dan mudah dirangkai. Keunggulan lain yang dimiliki adalah bahwa pembungaan dan panennya dapat diatur menurut kebutuhan pasar.

2.8. Botani Tanaman *Zinnia*

Tanaman zinnia berasal dari Mexico (Auman,1980) dan berkembang pesat di Amerika Barat dan Selatan (Stimart,dkk,1987).

Tanaman *zinnia* merupakan tanaman setahun yang tumbuh secara tegak mencapai ketinggian 1 m. Dalam 1 tangkai bunga terdapat sebuah bunga majemuk yang berdiameter sampai 10 cm. Mahkota bunga terdiri dari bunga tabung (*disk floret*) dan bunga pita (*rayfloret*). *Disk floret* berwarna jingga kekuningan atau coklat keunguan, sedangkan *ray floret* memiliki warna yang sangat bervariasi (Auman,1980). Menurut (Beckett, 1984) berpendapat bahwa bunga *zinnia* berwarna merah, merah muda, keunguan, jingga, kekuningan, sampai putih. Ketinggian tanaman 60 cm atau lebih, dengan panjang daun 7-13 cm.

2.9. Persyaratan tumbuh tanaman *zinnia*

Tanaman *zinnia* berkembang biak melalui biji, dan akan berkecambah dalam waktu satu minggu pada suhu 21 °C (Auman,1980). Agar pertumbuhannya optimum benih yang dikecambahkan sebaiknya berjarak 4-5 cm antar tanaman, atau disemai masing-masing dalam pot berdiameter 5 cm. Jika benih sudah berkecambah 4-5 hari kemudian segera dipindahkan. Tujuan pemindahan adalah untuk menghindari kerusakan akar (Beckett, 1984). Menurut (Nicholson, 1979) *Zinnia* membutuhkan keadaan tanah yang kaya humus, matahari penuh dan terhindar dari gangguan angin kencang selama pertumbuhannya. Auman (1980) berpendapat bahwa pemberian air lebih banyak dilakukan setelah transplanting (pemindahan ke lapang) sampai terbentuknya pucuk baru dan berkembangnya akar secara sempurna. Keasaman air yang sesuai bagi pertumbuhan *zinnia* berkisar antara 5,5-7,0. Kelembaban merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempercepat proses pembelahan sel dan pembentukan jaringan. Oleh karena itu tanaman harus cukup tersedia air. Semakin rendah turgiditas jaringan maka tingkat pembelahan sel akan menurun dan pertumbuhan tanaman menjadi lambat (Laurie,dkk,1958).

2.10. Pembungaan tanaman *zinnia*

Tanaman *zinnia* merupakan jenis tanaman yang saat pembungaannya tidak serempak (Armitage, dkk, 1981). Suhu 15-18 °C paling cocok untuk inisiasi kuncup bunga, khususnya untuk beberapa jenis tanaman berhari pendek. Suhu yang terlalu tinggi menyebabkan warna bunga memudar karena terganggunya pembentukan pigmen warna atau menyebabkan terjadinya gangguan dalam pembentukan formasi bunga (Laurie, dkk, 1958).

2.11. Penamaan tanaman zinnia

Setelah daun pertama muncul, pada saat 10 hari setelah semai, bibit segera dipindahkan kedalam kantong plastik. Tiap kantong berisi media tanaman yang terdiri dari tanah yang gembur diberi satu tanaman zinnia. Tanaman zinnia segera disiram air secukupnya dan diberi label sesuai dengan perlakuan yang akan diberikan.

2.12. Pemeliharaan tanaman zinnia

Pemeliharaan yang dilakukan meliputi penyiraman, pemupukan, penyiangan gulma dan pemberantasan hama penyakit. Penyiraman dilakukan dua hari sekali sebanyak ± 200 ml/tanaman. Pengendalian gulma dilakukan secara manual hanya bila diperlukan. Serangan hama dan penyakit diatasi dengan penyemprotan insektisida dan akarisisida Meothrin 50EC, serta fungisida DithaneM-45.

2.13. Pemupukan tanaman zinnia

Pupuk adalah suatu bahan yang disediakan dengan maksud dapat digunakan untuk memberikan unsur hara secara langsung atau tidak langsung kepada tanaman. Pemupukan yang tepat akan sangat bergantung pada tingkat kesuburan, kultivar dan hasil yang ingin dicapai. Jumlah hara yang diambil oleh tanaman akan memberikan gambaran tentang jumlah pupuk yang harus diberikan. Diantara masalah kesuburan tanah, ketersediaan unsur hara nitrogen, fosfor dan kalium dalam tanah sering menjadi kendala dalam peningkatan hasil pada tanaman *zinnia*

baik kualitas maupun kuantitas. Berdasarkan proses terjadinya, pupuk dibedakan atas pupuk organik dan pupuk inorganik.

a) Peranan Pupuk Kandang (Organik)

Pupuk organik dibedakan atas pupuk hijau, pupuk kandang dan pupuk kompos (Engelstad, 1977). Pupuk kandang menyediakan dasar untuk pengelolaan kesuburan tanah. Pupuk kandang dianggap sebagai sumber hara utama sejak peradaban awal. Ketersediaan unsur hara yang diberikan dalam bentuk pupuk kandang bervariasi, tergantung pada faktor seperti sumber dan komposisi pupuk kandang, metoda dan waktu aplikasi serta tipe tanah dan iklim (Engelstad, 1977).

Karakteristik pupuk organik mempunyai populasi mikroba yang lebih tinggi sehingga penambahan bahan organik kedalam tanah akan meningkatkan aktivitas mikroba dalam tanah. Perbaikan kondisi fisik dan peningkatan aktivitas mikroba dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, bahan organik dalam tanah merupakan sumber N dan sumber penting lainnya yaitu S dan P, walaupun sifatnya immobile yaitu lama untuk diserap tanaman namun kandungan unsur haranya rendah (Widjaya. Adi, 1992).

Pada penelitian ini pupuk organik yang dipakai adalah pupuk kompos, kompos adalah pupuk organik dari hasil pelapukan jaringan atau bahan-bahan tanaman atau limbah organik pengolahan pabrik dan sampah organik yang sengaja dibuat manusia. Tingkat kandungan hara kompos sangat ditentukan oleh bahan dasar, cara pengomposan, dan cara penyimpanan (Musnamar, 2004). Kompos berperan sebagai materihumus pengikat kelembaban, bila dicampur dengan tanah maka kompos akan menambah bahan organik sehingga dapat meningkatkan sifat fisik tanah, meningkatkan infiltrasi air, meningkatkan aerasi tanah, menurunkan erosi, dan

menyediakan hara bagi tanaman (Poerwanto, 2003). Pupuk kompos dicampur dengan tanah sebagai media tanam, komposisi pupuk kompos dan tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman *zinnia* adalah (1:2) , berdasarkan volume (v/v) (Eneng Susilawati, 2007).

b) Peranan Pupuk NPK (Inorganik)

Salah satu faktor yang penting dalam pertumbuhan tanaman *zinnia* adalah penggunaan pupuk inorganik, keuntungan dari pupuk inorganik adalah dapat diberikan pada tanaman dalam jumlah yang sesuai dan dapat diberikan pada saat yang tepat sesuai dengan kebutuhan.

Pupuk Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ merupakan pupuk inorganik yang dapat memberikan kontribusi N yang cukup besar (46%) untuk dapat diserap oleh tanaman. N dalam urea harus diubah dulu menjadi ammonium dengan bantuan enzim tanah urease (Sanjaya, 1995), sifatnya antara lain higroskopis, mudah larut dalam air. Agar pupuk N tidak menguap maka pupuk urea sebaliknya diberikan dalam lubang dekat dengan tanaman (Siswandono, 1991).

Unsur Fosfor (P) didalam tanah bersifat immobile dan P yang diserap tanaman umumnya rendah. Oleh karena itu, penggunaan pupuk P secara terus menerus pada setiap musim tanam dikhawatirkan menyebabkan akumulasi P dalam tanah (Hilman, dkk, 1999).

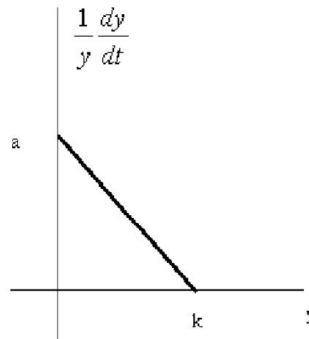
Pupuk KCL sebagai pemasok unsur kalium (K) juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman dalam kekeringan. Secara fisiologi K mempunyai fungsi mengatur pergerakan stomata dan hal-hal yang berhubungan dengan cairan sel, apabila kandungan K tinggi mengakibatkan transpirasi berkurang (Noggle, dkk, 1986; Wuryaningsih, 1995).

Pemupukan N,P dan K dapat meningkatkan jumlah unsur hara di dalam tanah yang diperlukan tanah yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Sudjatoro, 1997). Dosis pemupukan NPK pada tanaman *zinnia* yang menunjukkan efek pertumbuhan tanaman *zinnia* yang baik adalah 30 + 20 + 20 NPK g/m² (Qazi , dkk, 2005), untuk dosis pemupukan pada tanaman sistem polybag sebanyak 2 g/polybag (Eneng Susilawati, 2007).

2.14. Fungsi pertumbuhan tanaman

Menurut (Anggorodi,1994; Gardner,dkk, 1991; Chapman dan Meyer,1949; Spurr,1952; Husch,1963; Prodan,1968; Assmann,1970) pertumbuhan tanaman adalah suatu proses dimana proses tersebut dimulai perlahan-lahan kemudian proses tersebut berlangsung lebih cepat dan akhirnya perlahan-lahan lagi atau sama sekali berhenti, dalam bentuk grafik dari proses tersebut dikatakan sebagai kurva pertumbuhan dan berbentuk sigmoid, yaitu mirip huruf S.

Laju pertumbuhan tanaman adalah pertambahan ukuran pada setiap komponen tanaman pada masa tertentu. Pertambahan ukuran tersebut akan mendekati keseimbangan, yaitu mendekati nilai konstan, jika laju pertumbuhan tanaman dirumuskan $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$ maka pada saat $y=0$ didapat nilai a (dimana nilai a adalah konstan), kemudian laju pertumbuhan tanaman akan menurun secara linier dan bernilai 0 saat $y=k$, dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Grafik pertumbuhan logistik

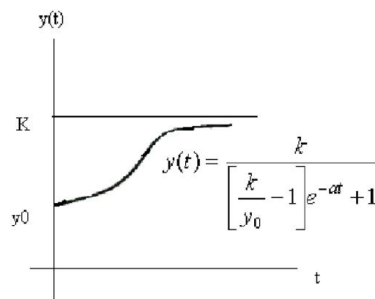
Laju pertumbuhan tanaman dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dt} = ay\left(1 - \frac{y}{k}\right)$$

Jika ditambahkan syarat awal dari pertumbuhan yaitu $y(0)=y_0$, maka diperoleh solusi persamaan diferensial dari persamaan menjadi :

$$y(t) = \frac{k}{\left[\frac{k}{y_0} - 1\right]e^{-at} + 1}$$

Untuk $a>0$ berlaku $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = k$ sehingga bentuk grafik mempunyai asimtot mendatar $y(t)=k$ seperti pada gambar 2.10.



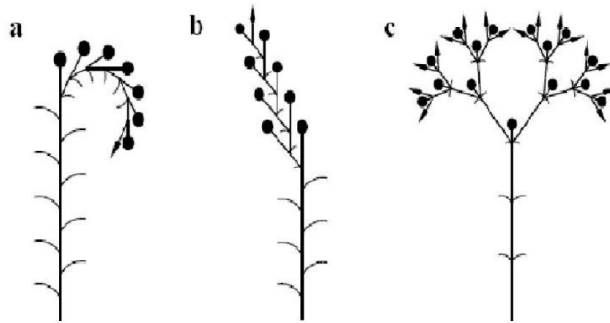
Gambar 2.10 Grafik sigmoid

2.15. Struktur Percabangan Tanaman *Zinnia*

Tanaman zinnia adalah termasuk dalam jenis tanaman bunga. Tanaman bunga adalah memiliki struktur percabangan. Klasifikasi

tanaman bunga dapat dibagi menjadi 3 (Muller-Doblies.D, 1987) yaitu *monopodial inflorescences*, *sympodial inflorescences* dan *polypodial inflorescences*.

Pada klasifikasi tanaman bunga *sympodial inflorescences* dibagi menjadi tiga yaitu *simple cymes*, *double cymes*, *Cymes* dan *thyrsus*. Tanaman zinnia adalah termasuk pada klasifikasi *double cymes*. Pada *double cymes* dapat diartikan bahwa tanaman mempunyai dua cabang, dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Klasifikasi *sympodial inflorescences* pada struktur percabangan tanaman bunga (a) *simple cymes* bentuk spiral (b) *simple cymes* bentuk zigzag (c) *double cymes*

Pada gambar 2.11 pertumbuhan tanaman zinnia pada klasifikasi ini, pucuk dari sumbu utama akan menjadi bunga, setelah beberapa cabang telah dimulai, kemudian dua tunas muncul pada ketiak daun pada order ke dua sebelum daun terakhir dekat dengan bunga.

Random modification of productions gives little insight into the relationship between L-systems and the figures they generate. However, we often wish to construct an L-system which captures a given structure or sequence of structures representing a developmental process. (Prusinkiewicz and Lindenmayer, 1990, pp. 11)

BAB III

MODEL TANAMAN *ZINNIA* VIRTUAL DENGAN *L-SYSTEM*

Penelitian pemodelan tanaman dimulai saat Aristid Lindenmayer memperkenalkan teori pertumbuhan *cell anabaena catenula*. Teori tersebut menggunakan *rewriting string* dan dikenal sebagai *Lindenmayer System (L-System)* (Prusinkiewicz.P, dkk, 1990). *L-System* adalah aturan pertumbuhan tanaman yang bersifat berulang.

L-System adalah suatu teori yang menggambarkan aturan pertumbuhan tanaman dalam desain model tanaman (Mech.R, dkk, 1996). Aplikasi *L-System* dapat dikembangkan menjadi model tanaman buah (Prusinkiewicz.P, dkk, 2003), tanaman pohon (Pachepsky.L.B, dkk, 2004).

Dalam penelitian ini, tanaman *zinnia* dipakai sebagai objek tanaman yang akan dibuat model tanaman. Untuk membuat model tanaman diperlukan pengamatan. Pada pengamatan akan diawali dari bibit, kemudian pertumbuhan tanaman dilanjutkan dengan tumbuhnya tunas muda yang dinotasikan sebagai *axiom* pada *L-System*. Aturan produksi pada *L-System* dapat diperlihatkan pada munculnya tunas muda dan berkembang, kemudian disusul oleh batang yang kemudian diikuti oleh daun muda, kesemuanya berkembang secara paralel, terakhir adalah bunga. Tanaman *zinnia* adalah termasuk satu klasifikasi dengan tanaman *Lychnis Coronaria* (Jacob.C, 2001; Robinson. D.F, 1986; Prusinkiewicz.P, dkk, 1990). Model tanaman *zinnia* yang peneliti buat mengembangkan dari model tanaman *Lychnis Coronaria*.

Pada penelitian ini visualisasi model tanaman *zinnia* menggunakan software *Mathematica* pada Sistem Operasi *Windows*. Output grafika visualisasi model tanaman *zinnia* berbentuk 3D dan disebut sebagai tanaman *zinnia* virtual.

3.1 Bahan dan Alat

Untuk mendapatkan data pertumbuhan tanaman *zinnia* dilakukan dengan pengamatan pada pertumbuhan tanaman dilahan polibag, media tanaman terdiri dari tanah yang digemburkan, penanaman dilakukan sejumlah 55 tanaman *zinnia* dengan penyiraman dilakukan 1 hari sekali sebanyak ± 200 ml/tanaman, pemupukan dengan kombinasi antara pupuk NPK sebagai inorganik dan pupuk kompos sebagai organik dilakukan pada minggu ke-1 setelah tanam sebanyak 2 g/*polybag*. Untuk *stranflower* diberikan pupuk Gandasil B 1 g/liter setiap minggu pada saat mulai muncul kuncup bunga.

Sedangkan faktor-faktor lingkungan yang meliputi suhu dan kelembaban lingkungan, intensitas cahaya, dan faktor lingkungan lain dalam penelitian ini lebih bersifat sebagai data pendukung terhadap pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* dan diperlakukan yang sama.

Hardware peralatan yang digunakan Personal Komputer dan Software yang digunakan adalah Sistem Operasi *Windows* dan *Mathematica*.

3.2 Pengamatan

Data pertumbuhan tanaman *zinnia* diambil dari pengamatan, meliputi :

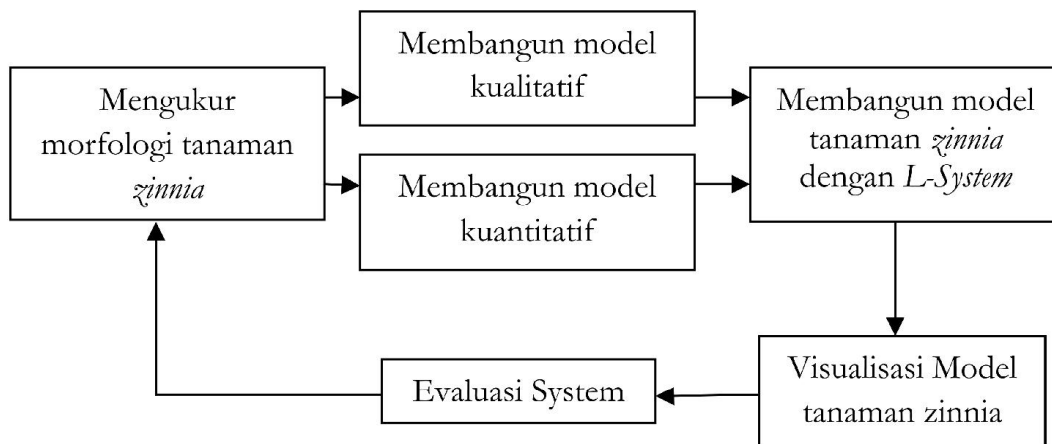
1. Variabel tanaman tentang perubahan bentuk morfologi meliputi tunas menjadi batang, batang tumbuh tunas baru dan dua daun.

2. Variabel tanaman tentang ukuran morfologi meliputi panjang batang tanaman, diameter batang, panjang daun, lebar daun, diameter bunga.
3. Variabel lingkungan meliputi temperatur, cuaca, kelembaban udara, intensitas cahaya.

Pengukuran dilakukan sampai hari ke-25 dengan interval 3 hari, pada hari ke-25 tanaman *zinnia* menunjukkan bahwa tanaman sudah terdapat bunga dan kuncup bunga pada setiap cabang, kondisi ini menunjukkan karakteristik tanaman *zinnia* sudah tercapai. Data pengamatan terdapat pada Lampiran A.

3.3 Metode untuk membuat Model Tanaman *Zinnia* menggunakan *L-System*

Langkah-langkah yang digunakan untuk membuat model tanaman *zinnia* dan visualisasi model tanaman *zinnia* dapat dilihat pada gambar 3.1.



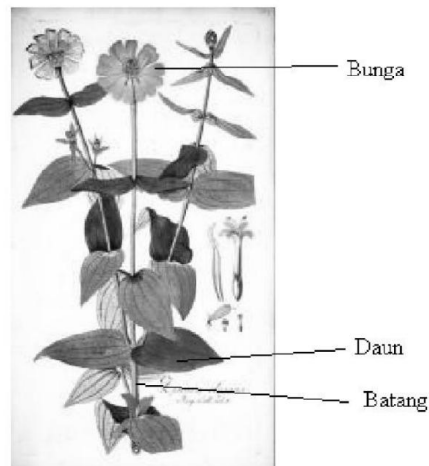
Gambar 3.1 Diagram visualisasi tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*

Pada gambar 3.1 menjelaskan tentang tahapan membuat model tanaman *zinnia* dan visualisasi tanaman *zinnia* menggunakan *L-System*. Pada penelitian ini menggunakan lima tahap, (1) Mengukur morfologi tanaman *zinnia* sesuai siklus hidup tanaman *zinnia*, (2) Membangun model kualitatif tanaman *zinnia* yaitu membuat axiom dan aturan

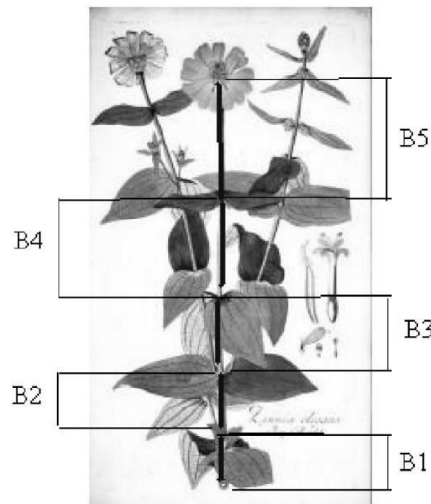
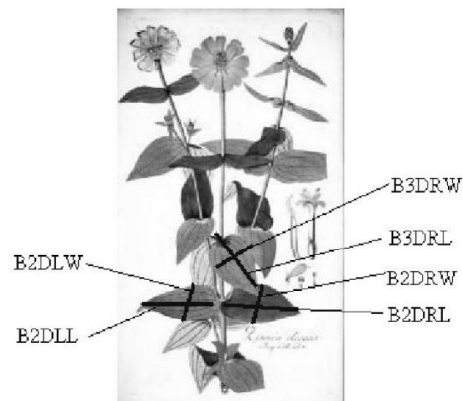
produksi sesuai dengan siklus hidup tanaman *zinnia*, (3) Membangun model kuantitatif tanaman *zinnia* yaitu membuat aturan produksi sesuai dengan fungsi pertumbuhan pada setiap morfologi tanaman *zinnia*, (4) Memvisualisasikan model tanaman *zinnia*, dan (5) Mengevaluasi model tanaman *zinnia*.

3.4 Koleksi Data pertumbuhan Tanaman *Zinnia*

Data morfologi tanaman *zinnia* dikumpulkan dalam satu tabel dari pengamatan di lapangan. Data morfologi tanaman *zinnia* meliputi panjang batang, diameter batang, panjang daun, diameter daun dan diameter bunga. Data morfologi tanaman *zinnia* dan ukuran dikumpulkan secara manual dengan menggunakan penggaris dan busur derajat. Morfologi tanaman *zinnia* ditunjukkan pada gambar 3.2. Panjang batang, diameter batang, diameter daun dan panjang daun ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 Morfologi tanaman *Zinnia*

Gambar 3.3 Panjang Batang Tanaman *Zinnia*Gambar 3.4 Panjang dan lebar Daun Tanaman *Zinnia*

Gambar 3.4 adalah menjelaskan cara mengukur daun, dimulai dari daun pada batang terbawah diberi nomor 1, panjang daun pada posisi kanan diberi kode B1DRL untuk diameter daun diberi kode B1DRW, panjang daun sebelah kanan diberi kode B1DLL untuk diameter daun diberi kode B1DLW kemudian dilanjutkan ke batang ke atas dengan nomor 2. Deskripsi simbol dari daun dapat dijelaskan sebagai berikut:

BiDLL adalah panjang daun sebelah kiri pada batang i.

BiDLW adalah diameter daun sebelah kiri pada batang i.

BiDRL adalah panjang daun sebelah kanan pada batang i.

BiDRW adalah diameter daun sebelah kanan pada batang i.

3.5 Representasi grafik untuk alphabet pada *L-System*

Alphabet pada *L-System* adalah digunakan sebagai simbol untuk mewakili morfologi tanaman *zinnia*. Simbol dan deksripsi dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Simbol yang digunakan untuk model tanaman *zinnia* pada *L-System*

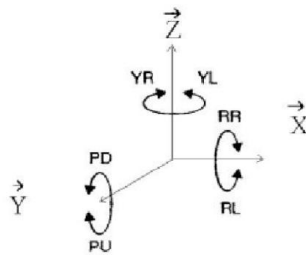
Simbol	Deskripsi
ii	<i>To generate the plant stalk</i>
l	<i>To generate the plant leaf</i>
m	<i>To generate the plant bloom</i>
FO[s]	<i>Advances the turtle by a step size of s in the direction and draws a line depending on the current color and line thickness settings.</i>
PU(α)	<i>The turtle is tilted up around its transverse axis y by an angle of a degree.</i>
PD(α)	<i>The turtle is tilted down around its transverse axis y by an angle of a degree.</i>
RR(α)	<i>The turtle is rotated right (clockwise) around its longitudinal axis x by an angle of a degrees.</i>
RL(α)	<i>The turtle is rotated left (clockwise) around its longitudinal axis x by an angle of a degrees.</i>
YR(α)	<i>The turtle is rotated right (clockwise) around its vertical axis Z by an angle of a degree.</i>
YL(α)	<i>The turtle is rotated left (counterclockwise) around its vertical axis Z by an angle of a degree.</i>
[<i>Push the current state of the turtle onto a pushdownstack to create a new branch</i>
]	<i>Pop a state from the stack and make it the current state of the turtle to close the branch</i>

Untuk merepresentasikan dalam membangun pemodelan pertumbuhan tanaman dan pola pertumbuhan tanaman dengan metoda *L-System*, dapat dimulai dengan merepresentasikan struktur tanaman. Tanaman *zinnia* pada penelitian ini dipakai tanaman *zinnia* lokal dimana terdapat 3 struktur model geometri yaitu batang (*stalk*), daun (*leaf*) dan bunga (*bloom*) dapat dilihat pada gambar 3.2 tentang morfologi tanaman *zinnia*.

Pada tabel 3.1 morfologi tanaman *zinnia* terdiri dari batang, daun dan bunga di notasikan ke dalam sintak yang berbeda, simbol f adalah

batang dengan garis yang bergerak maju, simbol l menggambarkan daun dan simbol m menggambarkan bunga.

Supaya lebih mendekati dengan kondisi real, maka diperlukan simbol lain untuk membantu supaya visualisasi nya mendekati real, simbol PU direpresentasikan sebagai arah menggambar memutar keatas sesuai sumbu y, untuk simbol PD direpresentasikan arah menggambar kebawah sesuai sumbu z, simbol RR direpresentasikan arah menggambar memutar kekanan sesuai arah sumbu x. Untuk menjelaskan cabang pada tanaman diperlukan simbol [yang diletakkan didepan simbol arah percabangan dan notasi sintak] diletakkan di akhir. Untuk lebih jelas tentang arah menggambar dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Ilustrasi dari arah menggambar untuk grafik 3D

3.6 Model Kualitatif Tanaman Zinnia

Proses membangun model kualitatif tanaman *zinnia*. Pada data pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* terdapat morfologi tanaman *zinnia* dan urutan nya. Morphologi tanaman *zinnia* terdiri dari tiga bagian utama yaitu batang, daun dan bunga. Tiga bagian utama tersebut berasal dari tunas (Robinson. D.F, 1986). Secara utuh urutan morfologi tanaman *zinnia* adalah dimulai dari tunas yang kemudian tumbuh sepasang daun, kemudian muncul tunas pada ketiak daun sampai pada pucuk dari sumbu utama akan menjadi bunga, setelah beberapa pasang daun telah dimulai, kemudian dua tunas muncul pada ketiak daun pada order ke dua sebelum daun terakhir dekat dengan bunga muncul.

Urutan morfologi tanaman *zinnia* adalah dasar membangun model kualitatif tanaman *zinnia*, pertama kali tanaman *zinnia* tumbuh adalah tunas yang simbolkan dengan *sprout*, kemudian *sprout* akan tumbuh menjadi pucuk tunas yang di simbolkan dengan A yang kelak berkembang menjadi bunga. Sedangkan untuk simbol *stalk* adalah merepresentasikan batang, simbol *leaf* adalah daun dan simbol *bloom* adalah direpresentasikan sebagai bunga. Kedua tunas yang tumbuh pada ketiak daun yang disimbolkan *sprout* akan terus berkembang dengan tingkat yang sama atau dengan tingkat pertumbuhan yang berbeda, yang dapat memberikan pertumbuhan yang tidak simetri pada pertumbuhan bunga secara keseluruhan. Dari ilustrasi tentang tumbuhnya tanaman *zinnia* dibuat model tanaman *zinnia* menggunakan *L-System* (Prusinkiewicz, dkk, 1990).

Tanaman *zinnia* adalah terdiri dari himpunan morfologi tanaman *zinnia*, setiap morfologi tanaman *zinnia* terdapat hubungan antara morfologi dan proses pertumbuhan morfologi yang dapat dinotasikan sebagai notasi $G_{zinnia}=(\Sigma,P=\{p_1,\dots,p_9\},\alpha)$, dimana Σ adalah alphabet dimana $\Sigma=(\delta_1,\dots,\delta_n)$, setiap simbol *alphabet* mewakili morfologi tanaman *zinnia* seperti *sprout*, *stalk*, *leaf*, *bloom*, α adalah string awal, disebut sebagai aksioma dan $P=(p_1,\dots, p_n)$, adalah sebuah set dari aturan produksi (bisa disebut sebagai *rewrite rules*). Produksi pertama adalah menjelaskan tentang keterhubungan antar morfologi tanaman *zinnia* dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$p_1 = sprout(4) \rightarrow f stalk(3) [leaf(1)] f stalk(2) [leaf(1)] [sprout(2)] \\ [sprout(2)] f stalk(1) bloom(0)$$

notasi lengkap dengan *L-System* untuk model kualitatif dapat dilihat pada gambar 3.6.

$$G_{zinnia} = (\Sigma, P = \{p_1, \dots, p_9\}, \alpha)$$

$$\Sigma = \{f, pd, pu, rr, sprout, stalk, leaf, bloom\}$$

$$\alpha = sprout(4)$$

$$p = \text{Produksi dimana sprout berkembang menjadi stalk, leaf dan bloom}$$

$$p_1 = sprout(4) \rightarrow f stalk(3) [pu(60) leaf(1)] f stalk(2) rr(90) [pu(60), leaf(1)] [pu(30) sprout(2)] rr(180) [pu(30) sprout(2)] f stalk(1) bloom(0)$$

Gambar 3.6 Struktur model kualitatif tanaman *zinnia* dengan *L-System*.

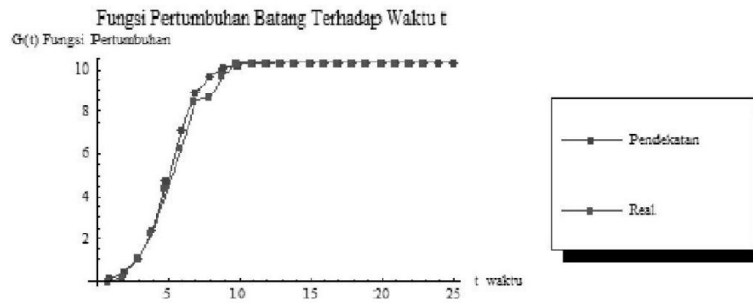
3.7 Model Kuantitatif Tanaman Zinnia

Model kuantitatif tanaman *zinnia* adalah membuat aturan produksi dari setiap morfologi tanaman *zinnia* dengan mengkombinasikan fungsi pertumbuhan. Fungsi pertumbuhan dihasilkan dari setiap morfologi tanaman *zinnia* sesuai dengan waktu dalam siklus hidup tanaman *zinnia*, grafik fungsi pertumbuhan untuk batang pada gambar 3.7 , grafik fungsi pertumbuhan untuk daun pada gambar 3.8 , grafik fungsi pertumbuhan untuk bunga pada gambar 3.9. Untuk mendapatkan fungsi pertumbuhan menggunakan rumus $G(t)$ (Somporn.C.A,dkk, 2004) dengan persamaan 3.1.

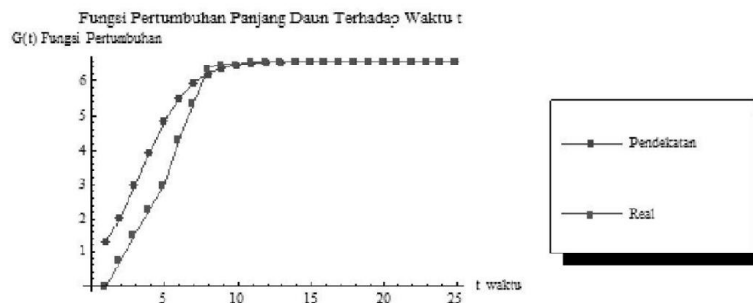
$$G(t) = L + \frac{U - L}{1 + e^{m(T-t)}}$$

di mana

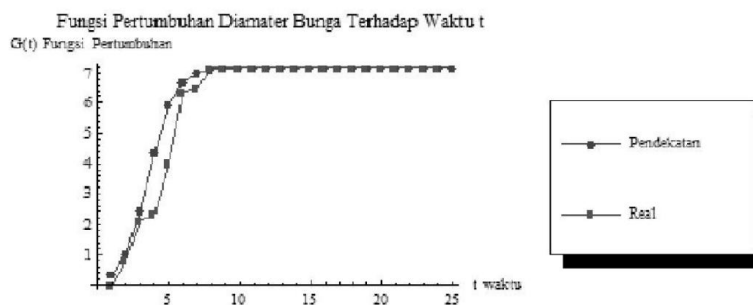
- L : nilai minimum panjang atau lebar.
- U : nilai maksimum panjang atau lebar.
- m : nilai kemiringan diperkirakan dari data mentah.
- T : waktu di $(U-L)/2$.
- t : waktu independen variabel.



Gambar 3.7 Fungsi Pertumbuhan Batang Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.8 Fungsi Pertumbuhan Daun Tanaman *Zinnia*



Gambar 3.9 Fungsi Pertumbuhan Bunga *Zinnia*

Pada setiap morfologi tanaman *zinnia* didapat nilai *size* minimum sebagai variabel L , nilai *size* maksimum sebagai variabel U , nilai kemiringan fungsi grafik sebagai variabel m . Dari fungsi pertumbuhan akan didapat nilai waktu sebagai variabel T . Proses perhitungan untuk mendapatkan nilai T seperti pada tabel 3.2 .

Tabel 3.2 Nilai U , T , m dan T untuk simbol *stalk*, *leaf* dan *bloom*

Simbol	Nilai L	Nilai U	Nilai m	Nilai T
<i>stalk</i>	0	10.3	0.9	4.4

<i>leaf</i>	0	6.6	0.9	4.1
<i>bloom</i>	0	7.2	0.8	4

Setiap morfologi tanaman *zinnia* seperti batang, daun dan bunga akan dikontrol oleh fungsi pertumbuhan dengan nilai T. Nilai T tersebut dikombinasikan dengan aturan produksi p_2 , p_3 , p_4 untuk produksi p_2 menjelaskan pertumbuhan tunas, produksi p_3 menjelaskan pertumbuhan batang, produksi p_4 menjelaskan pertumbuhan daun, produksi p_5 menjelaskan pertumbuhan bunga. Notasi lengkap dengan *L-System* untuk model kuantitatif dapat dilihat pada gambar 3.10.

Perubahan tumbuh tunas:
 $p_2 = \text{sprout}(t < 4) \rightarrow \text{sprout}(t+1)$
 Perubahan perpanjangan batang:
 $p_3 = \text{stalk}(t > 0) \rightarrow f \text{ stalk}(t-1)$
 Perubahan ukuran daun:
 $p_4 = \text{leaf}(t < 4) \rightarrow \text{leaf}(t + 1.5)$
 Pertumbuhan bunga:
 $p_5 = \text{bloom}(t < 4) \rightarrow \text{bloom}(t + 1)$

Gambar 3.10 Struktur model kuantitatif tanaman *zinnia* dengan *L-System*.

3.8 Model Tanaman *Zinnia*

Model tanaman *zinnia* adalah model yang didapat dari gabungan antara model kualitatif tanaman *zinnia* dengan model kuantitatif tanaman *zinnia*, model tersebut dapat dilihat pada gambar 3.11.

$G_{zinnia} = (\Sigma, P = \{p_1, \dots, p_9\}, \alpha)$
 $\Sigma = \{pd, pu, rr, sprout, stalk, leaf, bloom\}$
 $\alpha = sprout(4)$
 $p =$ Produksi dimana sprout berkembang menjadi leaf dan bloom
 $p_1 = sprout(4) \rightarrow stalk(3) [pu(60) leaf(1)] stalk(2) rr(90) [pu(60), leaf(1)]$
 $[pu(30) sprout(2)] rr(180) [pu(30) sprout(2)] stalk(1) bloom(0)$
 Perubahan tumbuh tunas:
 $p_2 = sprout(t < 4) \rightarrow sprout(t+1)$
 Perubahan perpanjangan batang:
 $p_3 = stalk(t > 0) \rightarrow f stalk(t-1)$
 Perubahan ukuran daun:
 $p_4 = leaf(t < 4) \rightarrow leaf(t + 1.5)$
 Pertumbuhan bunga:
 $p_5 = bloom(t < 4) \rightarrow bloom(t + 1)$

Gambar 3.11 Struktur model tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*

Template model tanaman *zinnia* dengan *L-System* dapat diekspresikan dengan program *mathematica* seperti pada gambar 3.12

```

TanamanZinnia =
LSystem[AXIOM[a[4]],
LRULES[LRule[LEFT[],PRED[a[4]],RIGHT[],
SUCC[SEQ[f,SEQ[ii[3]],SEQ[STACK[pu[60],l[1]]],SEQ[f,SEQ[ii[2]],
SEQ[rr[90]],SEQ[STACK[pu[60],l[0]]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]],SE
Q[rr[180]],SEQ[STACK[pu[30],a[2]]],SEQ[f,SEQ[ii[1]],SEQ[m[0]]],
LRule[LEFT[],PRED[a["t_/;t<4"]],RIGHT[],SUCC[a["t+1"]],
LRule[LEFT[],PRED[ii["t_/;t>0"]],RIGHT[],SUCC[f,f,ii["t-1"]],
LRule[LEFT[],PRED[l["t_/;t<4"]],RIGHT[],SUCC[l["t+1.5"]],
LRule[LEFT[],PRED[m["t_/;t<4"]],RIGHT[],SUCC[m["t+1"]]]]]

```

Gambar 3.12 kode program *mathematica* dengan *L-System*

3.9 Visualisasi Model Kuantitatif

3.9.1 Batang

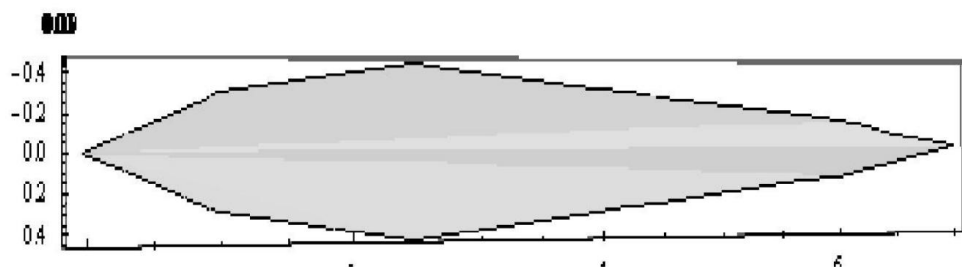
Batang sebagai simbol *ii* di notasikan sebagai : SEQ[FO[.2], YR[1], FO[.2], YR[1], FO[.2]], yang menjelaskan cara membuat suatu garis (FO) dalam arah rotasi (YR) kemudian gerakan garis (FO) dalam arah rotasi (YR).

3.9.2 Daun

Morfologi daun di notasikan sebagai simbol l menggambarkan dimana kode program mathematica dapat dilihat pada gambar 3.13 dan visualisasi daun dapat dilihat pada gambar 3.14 .

```
leafGraphics[scale_]:=Module[{p,xD,zD,rD},xD=4;zD=Random[Real,{1,2}];
rD=Random[Real,{0,180}];
p=Polygon[{{0,0,0},{-0.1`xD,1 scale,0.1`zD},{-0.15`xD,2.5`scale,0.2`zD},
{-0.05`xD,6 scale,0.3`zD},{0 xD,7 scale,0.4`zD},{0.05`xD,6 scale,0.3`zD},
{0.15`xD,2.5`scale,0.2`zD},{0.1`xD,1 scale,0.1`zD},{0,0,0}}];
GRAPHICS[Show[{RotateShape[Graphics3D[{Green,p}],0+rD,0,0],RotateShape
[Graphics3D[{Green,p}],[/+rD,0,0]},DisplayFunction->Identity],scale]]
```

Gambar 3.13 Kode program *Mathematica* untuk grafik objek daun



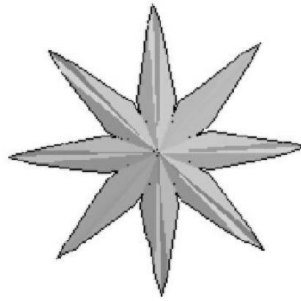
Gambar 3.14 Visualisasi morfologi model daun

3.9.3 Bunga

Morfologi bunga di notasikan sebagai simbol m , kode program mathematica dapat dilihat pada gambar 3.15 dan visualisasi bunga dapat dilihat pada gambar 3.16 .

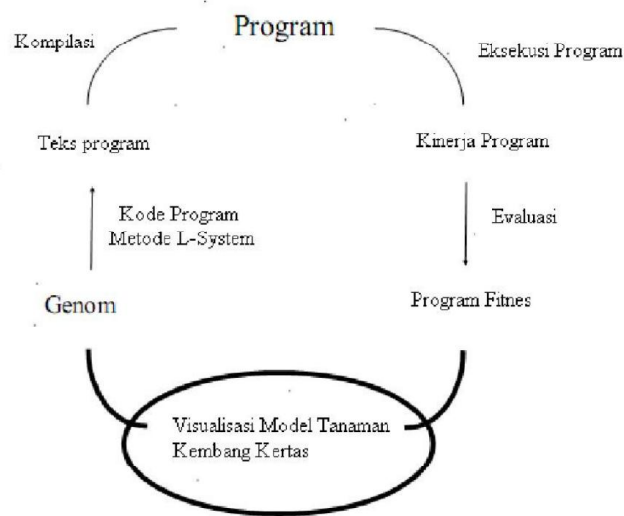
```
bloomGraphics[scale_]:=Module[{p,xD,zD,rD},xD=2;zD=Random[Real,{0,2}];
rD=0;(*Random[Real,{ -0.78,0.78}];*)
p=Polygon[{{0,0,0},{-0.1`xD,1 scale,0.1`zD},{-0.15`xD,2.3 scale,0.2`zD},
{-0.05`xD,2.7 scale,0.3`zD},{0 xD,3scale,0.4`zD},{0.05`
xD,2.7scale,0.3`zD},{0.15`xD,2.3 scale,0.2`zD},{0.1`xD,1 scale,0.1`
zD},{0,0,0}}];
GRAPHICS[Show[{ RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],[/4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],2*[/4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],3[/4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],4[/4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],5[/4+rD,0,0],
RotateShape[Graphics3D[{Red,p}],8[/4+rD,0,0]]
```

Gambar 3.15 Kode program *Mathematica* untuk bunga



Gambar 3.16 Visualisasi morfologi model bunga

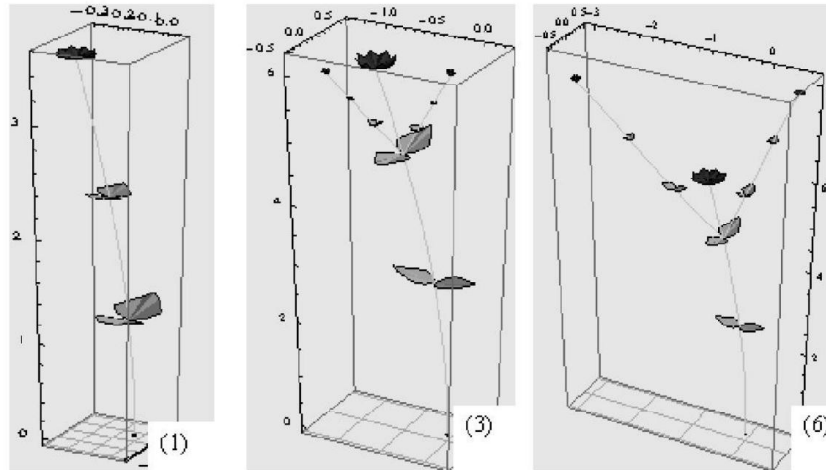
3.9.4 Visualisasi model tanaman *Zinnia*



Gambar 3.17 Desain perangkat lunak visualisasi model tanaman *zinnia*.

Gambar 3.17 adalah menjelaskan desain perangkat lunak untuk visualisasi model tanaman *zinnia*. Untuk membangun visualisasi model tanaman *zinnia* memakai template yang mendukung *L-Systems* yaitu paket *MathEvolvica* (Jacob.C, 1995). Template ini hanya dapat dijalankan dengan program *mathematica* di sistem operasi *windows*. Template *MathEvolvica* yaitu paket program *kLSystem.m* dan *TurtleInterpretation.m* yang mendukung implementasi dengan *L-System*. Model tanaman *zinnia* seperti pada gambar 3.10 adalah kode program *mathematica* sesuai dengan *L-System*, dimana tiap kode dari alphabet *L-System* akan dikonversi ke bentuk grafika komputer, serta di evaluasi hasil dari pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dibangun dengan

metoda *L-System* yaitu dengan program *fitness*, kemudian dilakukan visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* kalau sudah selesai berhenti jika perlu perubahan kembali lagi untuk merubah pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *L-System*.



Gambar 3.18 Visualisasi pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan metoda *D0L-System* untuk iterasi 1, 3 ke 6

Visualisasi pertumbuhan tanaman kembang kertas pada Gambar 3.18 dimulai dengan munculnya tunas yang dinotasikan sebagai *sprout(4)* dimana notasi ini tidak merepresentasikan bentuk grafik, produksi pertama untuk rule grammar adalah mengganti *sprout* dengan empat struktur *stalks* yang di ikuti dengan tiga struktur *leaf*, tiap struktur *leaf* terdiri dari dua daun *leaf(0)*, untuk *stalks(2)* akan muncul cabang diatas dua daun *leaf(0)*. Antara dua struktur *leaf* akan muncul dua tunas sebagai cabang tanaman dengan ditandai *sprout(2)*. Dan pada ujung paling tinggi pada *stalks* direpresentasikan sebagai *bloom(0)*, yang direpresentasikan sebagai bunga *zinnia*.

Produksi p_1 adalah menjelaskan dasar struktur tanaman, percabangan dan rule control untuk pertumbuhan tanaman. Produksi p_2 adalah munculnya tunas dinotasikan sebagai *sprout* dan Produksi p_3

adalah untuk pertumbuhan batang dinotasikan sebagai *stalks*. Produksi p_4 dan p_5 adalah aturan pertumbuhan untuk daun dan bunga yang dinotasikan sebagai *leaf* dan *bloom*. Pemodelan pertumbuhan tanamankembang kertas dengan pola cabang banyak (*a multiple-branched*), dengan daun dan bunga sebagai segmen pertumbuhan.

3.10 Fitness

Untuk menilai model tanaman zinnia digunakan nilai fitness. Nilai fitness adalah penjumlahan nilai maximum pada sumbu X ditambah nilai maximum pada sumbu Y dan nilai maximum pada sumbu Z dikali jumlah bunga dari setiap generasi pada setiap iterasi (Jacob.C, 1995) dengan rumus 3.2 dan kode program *mathematica* pada gambar 3.19.

$$\text{Fitness}_i = (X_i + Y_i + Z_i) \times \text{Bunga}_i \quad (3.2)$$

```
If [lineCoordinates != {},
{maxXCoord, maxYCoord, maxZCoord} = MapThread
[Max, lineCoordinates];
exprFitness = maxXCoord + maxYCoord + maxZCoord,
exprFitness = 0 ];flowers];
```

Gambar 3.19 Kode program *mathematica* nilai fitness tanaman *zinnia*

3.11 Evaluasi Model

Model tanaman *zinnia* dan visualisasi tanaman *zinnia* yang telah dibuat memiliki kemampuan untuk menyesuaikan parameter yang diinputkan secara interaktif. Hal ini memungkinkan pemakai dan pengembang dapat mengatur aturan produksi dan memodifikasi visualisasi tanaman *zinnia* yang dihasilkan. Selain itu, jika ada kekurangan dalam model kuantitatif dan model kualitatif pada *L-System* pemakai dapat mengedit alphabet dan aturan produksi dan dapat memvisualisasi ulang model tanaman *zinnia*.

Artificial Life is the study of man-made systems that exhibit behaviors characteristic of natural living systems. It complements the traditional biological sciences concerned with the analysis of living organisms by attempting to synthesize life like behaviors within computers and other artificial media. (Langton, 1989, pp.1)

BAB IV

PENDEKATAN JARINGAN SARAF TIRUAN

Pendekatan *artificial intelligence* banyak di aplikasikan pada berbagai bidang, seperti bidang sistem pendukung keputusan dan *computer vision* (Altroc, 1995), jenis pendekatan *artificial intelligence* yaitu *neural network* dan *fuzzy sistem* dapat digunakan untuk memetakan suatu ruang input ke ruang ouput (Wang,L, 1997), pendekatan *artificial intelligence* juga dapat memberikan alternatip solusi terkait dengan karakteristik pertumbuhan tanaman dan sistem produksi biologi (Hashimoto, Y, dkk, 1993).

Pendekatan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan digunakan untuk identifikasi model tanaman, sedangkan pembahasan pendekatan lain pernah dilakukan peneliti, pendekatan *fuzzy mamdani* dan *genetic programming l-system* pernah dilakukan pada laporan disertasi. Peneliti mengambil data dari pengamatan dilapangan.

4.1 Data Percobaan

Proses penelitian untuk pembangunan pemodelan pertumbuhan tanaman dan visualiasi tanaman dilakukan di Laboratorium Jaringan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Data pertumbuhan tanaman *zinnia* diambil dari pertumbuhan tanaman dilahan polibag, penanaman dilakukan sejumlah 20 kelompok tanaman, setiap kelompok terdapat 3 tanaman *zinnia*, 15 kelompok data pada tabel 4.2 sebagai data input dan tabel 4.4 sebagai data output, data tersebut digunakan untuk menyusun pemodelan pertumbuhan tanaman

menggunakan *jaringan saraf tiruan* dan 5 kelompok tanaman sebagai data pengujian validasi pada tabel 4.3 dan tabel 4.5.

Pada penelitian ini komposisi pemberian pupuk NPK adalah faktor yang memberikan pengaruh kepada pertumbuhan tanaman terutama pada komponen tanaman tersebut. Sedangkan faktor lingkungan lain yang meliputi suhu dan kelembaban lingkungan, intensitas cahaya, dan faktor lingkungan lain dalam penelitian ini lebih bersifat sebagai data pendukung terhadap pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia*. Proses pemupukan dilakukan setiap 7 hari sekali mulai dari penanaman bibit tanaman *zinnia* dengan komposisi pupuk dapat dilihat pada Tabel 4.1. dengan penyiraman dilakukan 2 hari sekali sebanyak ± 200 ml/tanaman.

Tabel 4.1 Dosis Pupuk

Nama Pupuk	Dosis Perkelompok Tanaman (gram)
NPK	0-2 gram
Urea	0-2 gram

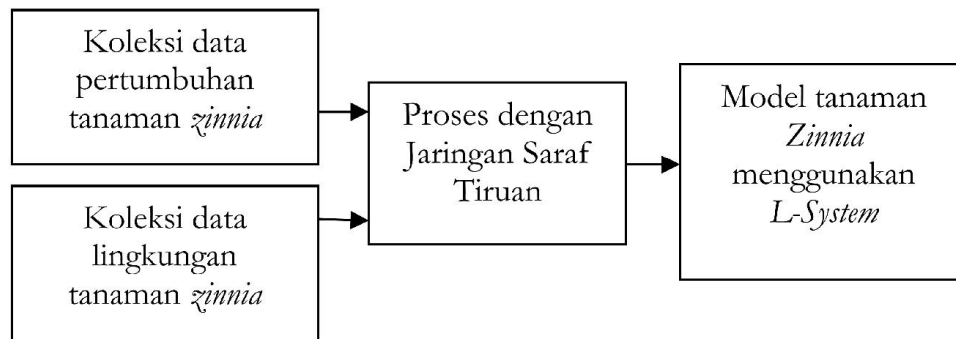
Pemupukan dilakukan dengan cara mencampur komposisi pupuk pada table 4.1 dengan melarutkan ke dalam air sebanyak 200 ml/tanaman untuk setiap kelompok tanaman. Sedangkan untuk pupuk NPK dengan cara mencampur dengan media tanaman terdiri dari tanah dan kompos dengan komposisi (2:1), berdasarkan volume.

Hardware peralatan yang digunakan Personal Komputer dengan spesifikasi standar Processor Intel Pentium Dual CPU 2,8 GHZ, RAM 500 Mbyte, *Hard drive* 500 GB, Kartu Grafis NVIDIA GeForce 8400 GS. Software yang digunakan adalah Sistem Operasi *Windows 7* dan *Mathematica*.

4.2 Metodologi penelitian

Pada gambar 2.1 dapat dilihat pertama kali adalah mengkoleksi data pertumbuhan tanaman dari pengukuran dilapangan selama 25 hari, data tentang lingkungan juga dilakukan pengamatan, terutama data

lingkungan tentang komposisi pemberian pupuk NPK dan organik. Kedua data tersebut diolah menggunakan metode jaringan saraf tiruan. Metode jaringan saraf tiruan akan melakukan system identifikasi, yaitu membuat keterhubungan antara data input pemberian pupuk dan data output komponen tanaman dan fungsi pertumbuhan. Kedua output yang dihasilkan oleh jaringan saraf tiruan akan dijadikan model tanaman virtual.



Gambar 4.1 Desain penelitian

4.3 Pengamatan

Dilakukan pengamatan pertumbuhan tanaman *zinnia* dengan variabel meliputi:

1. Pengamatan dengan perubahan variabel pada pertumbuhan komponen tanaman meliputi panjang batang tanaman, diameter batang, panjang daun, lebar daun, diameter bunga.
2. Pengamatan dengan perubahan variabel pada pertumbuhan perubahan komponen tanaman meliputi dari tunas berubah bentuk menjadi tangkai dan berubah menjadi batang dan berubah menjadi bunga.
3. Pengamatan dengan perubahan variabel pada lingkungan yang meliputi temperatur, cuaca, kelembaban udara, intensitas cahaya dan pemberian pupuk.

Pengamatan dan pengukuran dilakukan hingga hari yang ke-25 meliputi panjang batang tanaman, diameter batang, tinggi daun, lebar daun, diameter bunga, tinggi tanaman. Pada usia ke-25 sudah terdapat bunga dan kuncup bunga pada setiap cabang yang menunjukkan karakteristik tanaman *zinnia* sudah tercapai.

Tabel 4.2 Pengaruh pemberian variasi pupuk NPK dan kompos terhadap komponen tanaman *zinnia* sebagai data latih

Perlakuan			Struktur Tanaman			
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Panjang Batang (cm)	Diameter Daun (cm)	Panjang Daun (cm)	Diameter Bunga (cm)
1	0	0	10	3,1	5,8	5,4
2	0	50	10,9	3,3	6	5,8
3	0	100	11,4	3,5	6,2	6,4
4	25	0	11	4	6,1	6,7
5	25	50	12,5	4,3	6,6	7,2
6	25	100	10	3,1	5,8	5,4
7	50	0	10,9	3,3	6	5,8
8	50	50	11,4	3,5	6,2	6,4
9	50	100	11	4	6,1	6,7
10	75	0	12,5	4,3	6,6	6,6
11	75	50	10	3,1	5,8	5,4
12	75	100	10,9	3,3	6	5,8
13	100	0	11,4	3,5	6,2	6,4
14	100	50	11	4	6,1	6,7
15	100	100	12,5	4,3	6,6	7,2

Tabel 4.3 Pengaruh pemberian variasi pupuk NPK dan kompos terhadap komponen tanaman *zinnia* sebagai data uji

Perlakuan			Struktur Tanaman			
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Panjang Batang (cm)	Diameter Daun (cm)	Panjang Daun (cm)	Diameter Bunga (cm)
1	0	75	10	3,1	5,8	5,4
2	25	75	10,9	3,3	6	5,8
3	50	75	11,4	3,5	6,2	6,4
4	75	25	11,3	4	6,1	6,7
5	100	75	12,5	4,3	6,6	7,2

Tabel 4.4 Pengaruh pemberian variasi pupuk NPK dan kompos terhadap fungsi pertumbuhan sebagai data latihan

Perlakuan			Fungsi Pertumbuhan Tanaman		
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Batang (cm)	Daun (cm)	Bunga (cm)
1	0	0	4,1	4	4.3
2	0	50	4,2	4,1	4.8
3	0	100	4,5	4,3	4.9
4	25	0	4,3	4	5.0
5	25	50	4,2	4,6	5.1
6	25	100	4,7	4,7	5.1
7	50	0	4,2	4,2	5,2
8	50	50	4,8	4,8	5.4
9	50	100	4,9	4,8	6,0
10	75	0	5,3	5,1	6,6
11	75	50	5,4	5,7	6,9
12	75	100	5,9	6	7
13	100	0	6	6,2	6,9
14	100	50	6,2	6,4	7,1
15	100	100	6,2	6,4	7,3

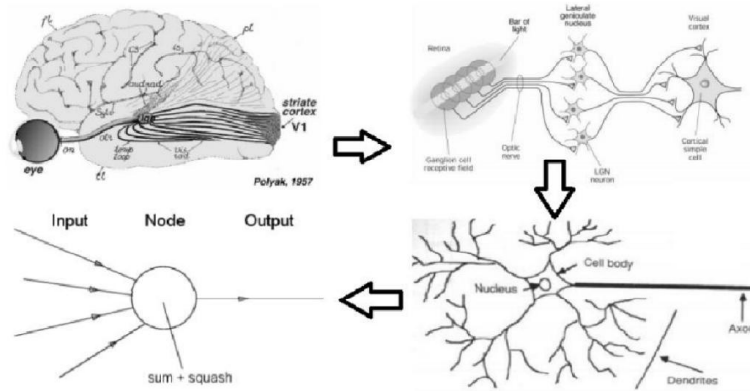
Tabel 4.5 Pengaruh pemberian variasi pupuk NPK dan kompos terhadap fungsi pertumbuhan sebagai data uji

Perlakuan			Fungsi Pertumbuhan Tanaman		
No	Pupuk Kompos	Pupuk NPK	Batang	Daun	Bunga
1	0	75	4,3	4,8	5,7
2	25	75	4,3	5,1	6,4
3	50	75	4,9	5,8	6,8
4	75	25	6	6	6,9
5	100	75	6,3	6,3	7,2

4.4. Jaringan saraf tiruan

Konsep jaringan saraf tiruan adalah representasi dari otak manusia, dimana system otak manusia selalu mencoba mensimulasikan proses pembelajaran. Digunakan istilah jaringan saraf tiruan karena konsep tersebut di implementasikan menggunakan program computer, dimana program tersebut mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan

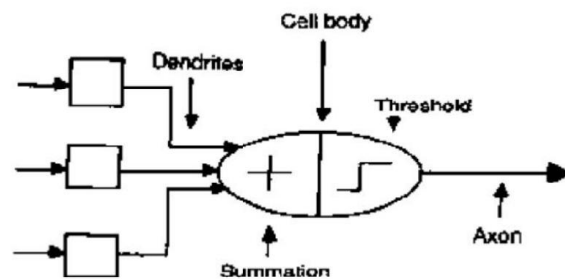
selama proses pembelajaran pada gambar 4.2. Dilustrasikan bahwa dari bentuk otak manusia sampai ke model matematika jaringan saraf tiruan.



Gambar 4.2 Struktur dasar jaringan saraf tiruan dari saraf biologis sampai model jaringan saraf tiruan

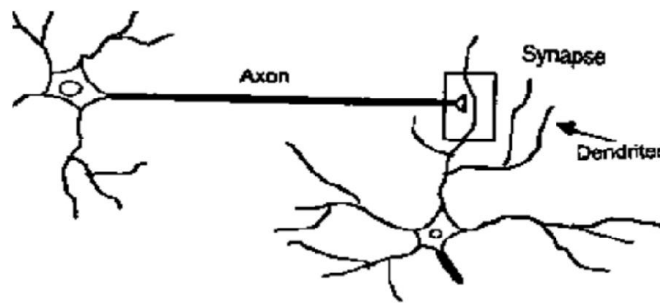
Jaringan saraf tiruan telah dikembangkan sebagai turunan model matematika dari saraf biologis manusia, karena berdasar pada asumsi bahwa:

1. Suatu pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut *neuron*. Model neuron dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Model neuron

2. Suatu sinyal lewat diantara *neuron* menciptakan jaringan koneksi. Hubungan antara 2 neuron dapat dilihat pada gambar 4.4



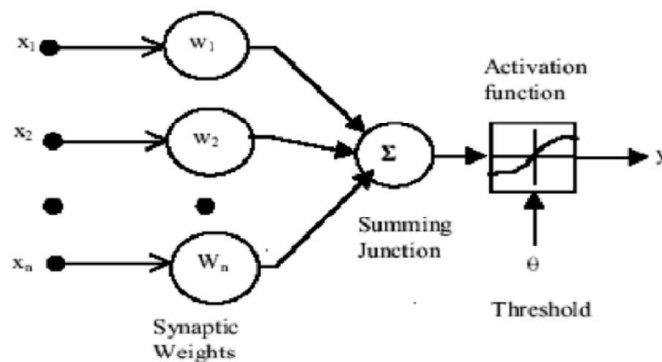
Gambar 4.4. Hubungan antara 2 neuron

3. Setiap koneksi penghubung memiliki bobot yang terhubung, yang dalam jaringan saraf tertentu digunakan untuk mengalirkan sinyal yang ditransmisikan.
4. Setiap *neuron* mempunyai fungsi aktivasi (biasanya *non linier*) pada jaringan *input* nya (jumlah dari bobot sinyal *input*) untuk menentukan sinyal *output* nya.

Karakteristik dari jaringan saraf tiruan adalah:

1. Pola hubungan antar *neuron* (yang menjadi arsitekturnya).
2. Metode penentuan bobot dalam koneksi (disebut sebagai proses latihan, pembelajaran, atau algoritma).
3. Fungsi aktivasi.

Dari ketiga karakteristik diatas dapat dibuat model jaringan saraf tiruan seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Model jaringan saraf tiruan

Pada gambar 4.5 dapat diilustrasikan bahwa input : $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ adalah sinyal yang masuk ke sel syaraf, sedangkan bobot adalah $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ adalah faktor bobot yang berhubungan dengan masing-masing node. Setiap input akan dikalikan dengan bobot dari node-nya masing-masing. Tergantung dari fungsi aktivasi yang dipakai. Threshold adalah nilai ambang internal dari node θ yaitu besarnya offset yang mempengaruhi aktivasi dari output node y . Fungsi aktivasi adalah merupakan operasi matematik yang dikenakan pada sinyal output y . Ada beberapa fungsi aktivasi yang biasa dipakai dalam jaringan saraf tiruan tergantung dari masalah yang akan diselesaikan.

Pada jaringan saraf biologis terdiri atas sel-sel yang disebut *neuron*. Pada jaringan saraf tiruan, juga terdapat istilah *neuron* atau sering disebut unit, sel, *node*. Setiap *neuron* terhubung dengan *neuron-neuron* yang lain melalui *layer* dengan bobot tertentu. Bobot disini melambangkan informasi yang digunakan oleh jaringan untuk menyelesaikan persoalan.

Pada jaringan saraf biologis, bobot tersebut dapat dianalogikan dengan aksi pada proses kimia yang terjadi pada *synaptic gap*. Sedangkan *neuron* mempunyai *internal state* yang disebut aktivasi. Aktivasi merupakan fungsi dari *input* yang diterima. Suatu *neuron* akan mengirimkan sinyal ke *neuron-neuron* yang lain, tetapi pada suatu saat hanya ada satu sinyal yang dikeluarkan walaupun sinyal tersebut ditransmisikan ke beberapa *neuron* yang lain. Sistem jaringan saraf banyak digunakan dalam berbagai bidang antara lain kedokteran, bisnis, keuangan, maupun elektronika termasuk pemrosesan sinyal dan sistem kontrol. Jaringan saraf tiruan dapat menjelaskan relasi input/output untuk nonlinear sistem (Hecht-Nielsen, 1988).

Pada penelitian ini relasi antara variasi pemberian pupuk terhadap nilai struktur (yaitu komponen dan morfologi) dan fungsi pertumbuhan tanaman *zinnia*. Pada jaringan saraf tiruan untuk sistem output

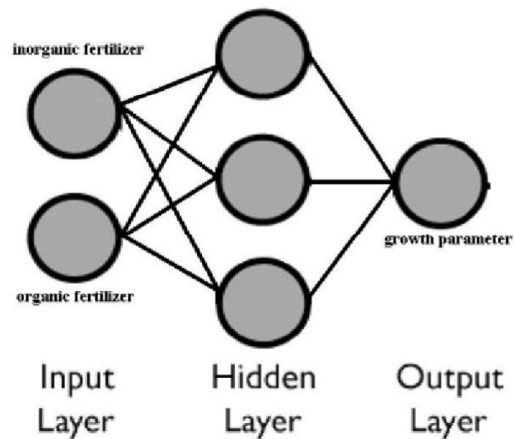
digunakan variabel struktur tanaman, antara lain tinggi batang, diameter batang, lebar daun, tinggi daun, diameter bunga dan variabel fungsi pertumbuhan pada komponen tanaman.

Dalam penelitian ini, jaringan saraf tiruan menggunakan *multilayer* untuk memberikan solusi terkait dengan sistem yang kompleks, yang dapat ditunjukkan dengan pertumbuhan tanaman yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti dalam kondisi riil. Hasil dari penelitian ini adalah mendapatkan variabel yang dapat dibuat model pertumbuhan tanaman *zinnia* virtual sesuai dengan faktor lingkungan yang mempengaruhi.

4.5. Pendekatan Jaringan saraf tiruan Pada Model Pertumbuhan Tanaman Zinnia yang dipengaruhi Pemberian Pupuk

Data pertumbuhan tanaman *zinnia* didapat dari pengamatan selama 25 hari tanam. Diagram alir model untuk membangun sistem model pertumbuhan tanaman *zinnia* menggunakan jaringan saraf tiruan dapat dilihat pada gambar 4.6.

Jaringan saraf tiruan menggunakan tiga lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output* nya. Jaringan dengan tiga lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit dari pada jaringan dengan lapisan double dan tunggal. Jaringan dengan banyak lapisan lebih sukses dalam menyelesaikan masalah. Pada gambar 4.6 menunjukkan jaringan saraf tiruan *three layer*.



Gambar 4.6 Struktur jaringan saraf tiruan pada pertumbuhan tanaman yang dipengaruhi oleh pemberian pupuk NPK dan kompos

Gambar 4.6 menjelaskan tentang sistem untuk mengidentifikasi model pertumbuhan tanaman dengan jaringan saraf tiruan. Struktur pada jaringan saraf tiruan ini memiliki dua input dan satu output dengan tiga lapisan tersebut, hasil output adalah sebagai model pertumbuhan tanaman *zinnia* yang terdiri dari variabel komponen tanaman dan variabel fungsi pertumbuhan pada komponen tanaman.

4.6. Model Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan dibangun dengan menggunakan software mathematica. Untuk mengatur ukuran jaringan saraf tiruan digunakan kode program seperti dapat dilihat pada gambar 4.7.

```
setupNN[din_, dhid_, dout_, bias_ : True] := Module[{b}, b = If[bias, 1, 0];
  {(* current state *)
    RandomArray[uniformDist, {din + b, dhid}],
    RandomArray[uniformDist, {dhid + b, dout}],
    (* state at t-1 *)
    Table[0, {din + b}, {dhid}],
    Table[0, {dhid + b}, {dout}]}
```

Gambar 4.7. Kode program mathematica untuk ukuran jaringan saraf tiruan.

Pada penelitian terdapat 19 jaringan saraf tiruan, pada setiap jaringan saraf tiruan terdiri dari 2 input (terdiri dari pupuk organik dan inorganik), 9 lapisan tersembunyi, dan 1 ouput (diambil dari komponen tanaman dan fungsi pertumbuhan dari setiap komponen tanaman) dapat dimabil contoh adalah panjang batang tanaman *zinnia*.

Pada gambar 4.8 adalah kode program untuk mengatur bobot input ke lapisan tersembunyi dan bobot lapisan tersembunyi ke lapisan keluaran pada gambar 4.9.

```
Needs["Statistics`ContinuousDistributions`"]
Needs["DiscreteMath`Combinatorica`"];

dist = UniformDistribution[-0.3, 0.3]
UniformDistribution[-0.3, 0.3]

 $\alpha_{\text{input}} = \text{RandomArray}(\text{dist}, \{d_{\text{in}}, d_{\text{hid}}\})$ 
{{0.0290222, 0.299309, -0.022672, 0.209096, -0.254816, -0.0138154, -0.158995, -0.295614, 0.260387, 0.296664, -0.293458,
  0.196172, 0.189001, -0.0310823, -0.263485, 0.275209, -0.0166403, -0.156195, -0.00957772, 0.13029, -0.278571},
 {0.0121785, 0.0301999, 0.0776153, -0.00759364, 0.0128699, -0.247128, 0.16852, -0.0527776, -0.273315, 0.211867,
  0.164133, -0.0131647, -0.269979, 0.205324, 0.267961, 0.0978343, 0.0611036, 0.16881, 0.292752, -0.183525, -0.0827011}}
```

Gambar 4.8 Kode program mathematica untuk mengatur bobot ke lapisan tersembunyi

```
 $\alpha_{\text{output}} = \text{RandomArray}(\text{dist}, \{d_{\text{hid}}, d_{\text{out}}\})$ 
{{-0.121613}, {-0.137538}, {-0.204954}, {0.20512}, {0.148187}, {0.0848472},
 {0.10264}, {-0.107749}, {0.0953155}, {0.216328}, {-0.144583}, {-0.134435}, {0.183449}, {-0.247806},
 {0.168582}, {-0.164456}, {0.278125}, {-0.215767}, {-0.229252}, {0.0744402}, {-0.190685}}
```

Gambar 4.9 Kode program mathematica untuk mengatur bobot ke output

Input bobot ($w_{ji}x_i$) adalah jumlah dari semua $w_{ji}x_i$ dan nilai *threshold* (θ_j), untuk membuat satu aktivasi pada setiap input dapat dirumuskan seperti pada rumus (1), kode program dapat dilihat pada gambar 4.10

$$I_j = \sum w_{ji}x_i + \theta_j \quad (1)$$

$h_{\text{hidden}} \cdot \alpha_{\text{output}}$:

Gambar 4.10 Kode program mathematica untuk membuat aktivasi

Untuk mengatur level aktivasi digunakan fungsi sigmoid, kode program mathematica untuk fungsi sigmoid pada gambar 4.11

$$g_{sig}(x) := \frac{1}{1 + e^{-x}};$$

Gambar 4.11 Kode program mathematica untuk fungsi sigmoid.

Sedangkan untuk memproduksi output digunakan rumus (2), dan kode program untuk mendapat kan output dapat dilihat pada gambar 4.12.

$$y_j = f(I_j) \quad (2)$$

$$\Psi_{net} = g_{sig}(h_{hidden} \cdot \alpha_{output})$$

Gambar 4.12 Kode program mathematica untuk menghasilkan output.

Untuk menyajikan set pelatihan input (pupuk organik dan pupuk anorganik) dan output, kita bisa ambil contoh adalah panjang batang menggunakan metode propagasi balik, maka fungsi Training Set dalam kode program Mathematica dapat dilihat pada gambar 4.13. Kesalahan yang didapat dengan kode program dapat dilihat pada gambar 4.14. Di mana E adalah kesalahan fungsi, $\Psi_{desired}$ adalah output yang diinginkan,

Ψ_{net} adalah output yang diprediksi oleh jaringan saraf tiruan.

$$ts = \begin{pmatrix} \{0.1, 0.1\} & \{0.08\} \\ \{0.1, 0.5\} & \{0.09\} \\ \{0.1, 0.9\} & \{0.10\} \\ \{0.2, 0.1\} & \{0.09\} \\ \{0.2, 0.5\} & \{0.09\} \\ \{0.2, 0.9\} & \{0.10\} \\ \{0.5, 0.1\} & \{0.11\} \\ \{0.5, 0.5\} & \{0.11\} \\ \{0.5, 0.9\} & \{0.11\} \\ \{0.7, 0.1\} & \{0.11\} \\ \{0.7, 0.5\} & \{0.11\} \\ \{0.7, 0.9\} & \{0.12\} \\ \{0.9, 0.1\} & \{0.12\} \\ \{0.9, 0.5\} & \{0.12\} \\ \{0.9, 0.9\} & \{0.12\} \end{pmatrix}$$

Gambar 4.13 Kode program mathematica untuk training set.


```
In[108]:=  $\epsilon = \Psi_{\text{desired}} - \Psi_{\text{net}}$ 
```

Gambar 4.14 Kode program mathematica untuk kesalahan yang didapat.

Bobot sambungan (w) disesuaikan dengan menggunakan aturan keturunan gradient, menggunakan rumus (3).

$$\Delta w(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w} + \mu \Delta w(t-1) \quad (3)$$

Di mana η adalah tingkat pembelajaran, pada penelitian ini akan menetapkan tingkat pembelajaran, η hingga 0.1, μ adalah nilai momentumnya. Bobot dapat diperbarui setelah setiap sampel pelatihan atau setelah sejumlah sampel pelatihan telah disajikan ke jaringan.

```
 $\alpha_{\text{output}} += \eta \text{ Outer}[\text{Times}, h_{\text{hidden}}, \delta_{\text{output}}]$ 
{{{-0.126247}}, {-0.142172}}, {-0.209589}}, {0.200486}},
{0.143553}}, {0.0802125}}, {0.098005}}, {-0.112384}},
{0.0906808}}, {0.211693}}, {-0.149217}}, {-0.139069}},
{0.178814}}, {-0.252441}}, {0.163947}}, {-0.169091}}, {0.27349}},
{-0.220402}}, {-0.233887}}, {0.0698055}}, {-0.19532}}}
```

Gambar 4.15. Kode program mathematica memperbarui α_{Output}

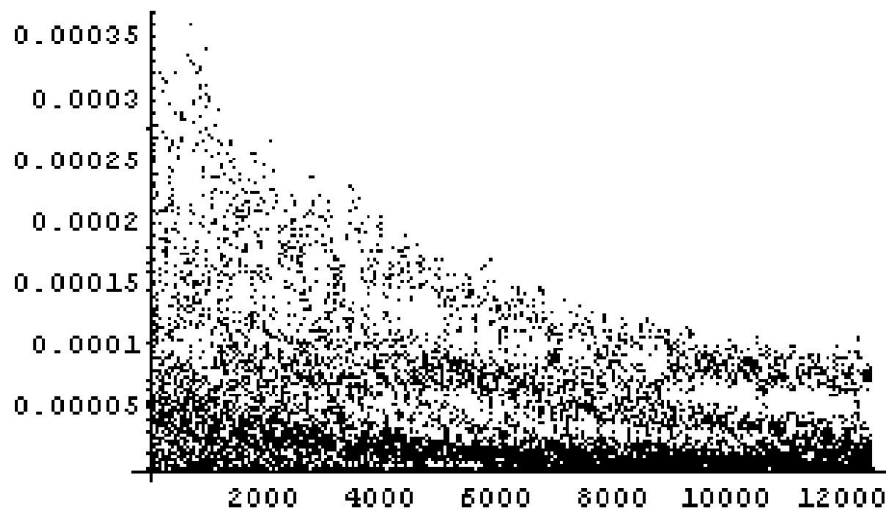
```
 $\alpha_{\text{hidden}} += \eta \text{ Outer}[\text{Times}, \phi, \delta_{\text{hidden}}]$ 
{{{0.0290222, 0.299309, -0.022672, 0.209096, -0.254816,
-0.0138154, -0.158995, -0.295614, 0.260387, 0.296664,
-0.293458, 0.196172, 0.189001, -0.0310823, -0.263485, 0.275209,
-0.0186403, -0.156195, -0.00957772, 0.13029, -0.278571}},
{0.0121785, 0.0301999, 0.0776153, -0.00759364, 0.0128699,
-0.247128, 0.16852, -0.0527776, -0.273315, 0.211867, 0.164133,
-0.0131647, -0.269979, 0.205324, 0.267961, 0.0978343,
0.0611036, 0.16881, 0.292752, -0.183525, -0.0827011}}}
```

Gambar 4.16. Kode program mathematica memperbarui α_{hidden}

Jumlah sampel pelatihan yang disajikan ke jaringan antara pembaruan berat disebut ukuran epoch (ϵ). Langkah 2 hingga 4 diulang sampai kriteria penghentian tertentu terpenuhi. Misalnya, pelatihan dapat dihentikan ketika sejumlah sampel pelatihan tetap telah disajikan ke jaringan, ketika fungsi kesalahan global cukup kecil atau ketika tidak ada perbaikan lebih lanjut dalam ramalan yang diperoleh menggunakan kumpulan data independen.

```
ws = setupNN[2, 9, 1];|  
{cTable, ws} = trainNN[ts, ws, 12500, 0.99, 0.00001];  
ListPlot[cTable, PlotRange -> All]  
feedForward[#1, ws] & /@ ts[[All, 1]]
```

Gambar 4.17 Kode program mathematica menjalankannya iterasi sebanyak 12500 pada pupuk organik 0 dan pupuk anorganik 99



Gambar. 4.18 Kesalahan yang didapat dari 12500 iterations

```
{{#1, feedForward[#1, ws]}&)/@ts[[All, 1]]

{{{0.1, 0.1}, {0.0889936}}, {{0.1, 0.5}, {0.0929186}}, {{0.1, 0.9}, {0.0970405}},
 {{0.2, 0.1}, {0.0919616}}, {{0.2, 0.5}, {0.0960019}}, {{0.2, 0.9}, {0.100224}},
 {{0.5, 0.1}, {0.101406}}, {{0.5, 0.5}, {0.105765}}, {{0.5, 0.9}, {0.110253}},
 {{0.7, 0.1}, {0.108126}}, {{0.7, 0.5}, {0.112669}}, {{0.7, 0.9}, {0.117298}},
 {{0.9, 0.1}, {0.115153}}, {{0.9, 0.5}, {0.119851}}, {{0.9, 0.9}, {0.124589}}}
```

Gambar 4.19 Kode program untuk hasil dari training set

```
In[11]= new = 
$$\begin{pmatrix} \{0.1, 0.75\} \\ \{0.25, 0.75\} \\ \{0.50, 0.75\} \\ \{0.75, 0.75\} \\ \{0.90, 0.75\} \end{pmatrix};$$


In[10]= {{{#1, feedForward[#1, ws]}&)/@new[[All, 1]]

Out[10]= {{{{0.1, 0.75}, {0.0941964}}, {{0.25, 0.75}, {0.0988415}},
 {{0.5, 0.75}, {0.107076}}, {{0.75, 0.75}, {0.115884}}, {{0.9, 0.75}, {0.121417}}}}
```

Gambar 4.20 Kode program untuk mendapatkan nilai panjang batang

Pada gambar 4.20 adalah kode program untuk mendapatkan nilai panjang batang dari proses jaringan saraf tiruan. Proses ini dapat dilanjutkan dengan luas area, luas bunga, nilai fungsi pertumbuhan batang, nilai fungsi pertumbuhan daun dan nilai fungsi pertumbuhan bunga. Semua hasil dari proses jaringan saraf tiruan akan diproses menjadi model tanaman virtual, yang kemudian dilakukan visualisasi tanaman virtual.

4.7. Hasil Identifikasi Model Pertumbuhan Tanaman Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan

Pengujian data aktual pengukuran di lapangan, dengan sistem model pertumbuhan tanaman menggunakan jaringan saraf tiruan diperoleh nilai untuk variabel pertumbuhan komponen tanaman dapat dilihat pada tabel 5.6.dan pada variabel fungsi pertumbuhan tanaman dapat dilihat pada tabel 5.7

Tabel 5.6 Komparasi hasil sistem dan aktual untuk variabel pertumbuhan komponen tanaman

Perlakuan	Data Komponen Tanaman <i>Zinnia</i>
-----------	-------------------------------------

NPK	Kom	Panjang Batang		Panjang Daun		Lebar Daun		Diameter Bunga	
		- cm -							
		Aktu	ANN	Akt	ANN	Akt	ANN	Akt	ANN
0	75	10	11.6	5,8	5,9	3,1	3,4	5,4	6.06
25	75	10,9	11.4	6	6.15	3,3	3,5	5,8	6.37
50	75	11,4	10.8	6,2	6,25	3,5	3,5	6,4	6.5
75	75	11,3	11.4	6,1	6,35	4	3,85	6,7	6,63
100	75	12,5	11.8	6,6	6,6	4,3	4	7,2	6,94

Tabel 5.7 Komparasi hasil model dan aktual untuk variabel fungsi pertumbuhan tanaman.

Perlakuan		Data Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i>					
NPK	Kom	Batang		Daun		Bunga	
		- cm -					
		Akt	ANN	Akt	ANN	Akt	ANN
0	75	4,3	4,68	4,8	4,68	5,7	4,96
25	75	4,3	5,09	5,1	5,09	6,4	5,53
50	75	4,9	5,25	5,8	5,25	6,8	5,75
75	75	6	5,41	6	5,41	6,9	5,97
100	75	6,3	5,82	6,3	5,82	7,2	6,54

4.7.1. Evaluasi Model

Keakuratan hasil perhitungan system dengan menggunakan jaringan saraf tiruan dapat diketahui dengan menghitung *error rate*, yaitu dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan data hasil perhitungan sistem. Untuk menghitung *error rate*, dalam penelitian ini menggunakan metoda *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dengan persamaan sebagai berikut:

$$PE_i = \frac{(X_i - F_i)}{X_i} \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{\sum PE_i}{n}$$

Dengan X_i adalah data aktual ke- i , yaitu data hasil pengukuran di lapangan dan F_i adalah data peramalan ke- i , yaitu hasil perhitungan dengan jaringan saraf tiruan.

Tabel 5.8 *Error rate* untuk komponen tanaman *zinnia*

No	Data Komponen Tanaman <i>Zinnia</i>											
	Panjang Batang			Panjang Daun			Lebar Daun			Diameter Bunga		
	- cm -											
	Akt.	Fuz	<i>err</i>	Akt	Fuz	<i>err</i>	Akt	Fuz	<i>err</i>	Akt	Fuz	<i>err</i>
1	10	11.6	16%	5,8	5,9	1%	3,1	3,4	9%	5,4	6.06	12%
2	10,9	11.4	4%	6	6.15	2%	3,3	3,5	6%	5,8	6.37	9%
3	11,4	10.8	5%	6,2	6,25	0%	3,5	3,5	0%	6,4	6.5	1%
4	11,3	11.4	0%	6,1	6,35	4%	4	3,85	3%	6,7	6,63	1%
5	12,5	11.8	5%	6,6	6,6	0%	4,3	4	6%	7,2	6,94	3%
Rata-rata <i>persentaseerror</i>			6%			1,4%			4,8%			5,2

Tabel 5.9 *Error rate* untuk fungsi pertumbuhan komponen tanaman zinnia

No	Data Fungsi Pertumbuhan Tanaman <i>Zinnia</i>									
	Batang			Daun			Bunga			
	- cm -									
	Akt	Fuz	<i>err</i>	Akt	Fuz	<i>err</i>	Akt	Fuz	<i>err</i>	
1	4,3	4,68	8%	4,8	4,68	2%	5,7	4,96	12%	
2	4,3	5,09	18%	5,1	5,09	0%	6,4	5,53	13%	
3	4,9	5,25	5%	5,8	5,25	9%	6,8	5,75	15%	
4	6	5,41	9%	6	5,41	9%	6,9	5,97	13%	
5	6,3	5,82	7%	6,3	5,82	7%	7,2	6,54	9%	
Rata-rata <i>persentaseerror</i>			9,4%				5,4%			10,9%

Untuk tabel 5.8 dan tabel 5.9 didapatkan tingkat rerata kesalahan *prosentase* di bawah 11%. Dari hasil jaringan saraf tiruan dalam mengidentifikasi nilai struktur tanaman dari faktor variasi pemberian pupuk yang diberikan. Tingkat *error rate (MAPE)* yang kurang dari 40% dikatakan baik dan dapat diandalkan (Brooks, dkk,2006);

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasar penerapan data pertumbuhan tanaman *zinnia*, penerapan *L-System* pada pemodelan pertumbuhan tanaman *zinnia*, maka penelitian dapat disimpulkan bahwa:

- (1) Penerapan data pertumbuhan tanaman *zinnia* sebagai model pertumbuhan tanaman *zinnia* menggunakan metoda *L-System* telah disusun dan dihasilkan visualisasi model pertumbuhan tanaman *zinnia*.
- (2) Aplikasi jaringan saraf tiruan untuk membuat model pertumbuhan tanaman *zinnia* yang dipengaruhi oleh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK memberikan hasil rata-rata kesalahan dibawah 13%.
- (3) Hasil model pertumbuhan tanaman yang di pengaruh pemberian variasi komposisi pupuk kompos dan NPK didapat bahwa pada pemberian pupuk kompos 100% dan pupuk NPK 75% adalah dihasilkan nilai fitness tertinggi dibandingkan dengan perlakuan pemberian pupuk yang lain.

5.2. Saran-saran

Penerapan pendekatan jaringan saraf tiruan dapat diterapkan dan dikembangkan dengan tanaman lain dan faktor lingkungan lain terhadap parameter terkait untuk mendapatkan model pertumbuhan tanaman. Pengembangan model pertumbuhan tanaman terhadap pengaruh lingkungan perlu untuk dikembangkan dalam kegiatan penelitian dengan aspek komoditas yang berbeda untuk memberikan kemudahan pengguna dalam studi analisa dan sintesa model pertumbuhan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak Umum*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Atif Riaz, Muhammad Arshad, Adnan Younis, Atiq Raza dan Mansoor Hameed, 2008, Effect Of Different Growing Media On Growth and Flowering of *Zinnia Elegans* CV Blue Point, *Pakistan. Journal. Botani*, 40(4): 1579-1585.
- Armitage, A. M., R.E. Bass, W.H. Carlson, and L.C. Ewart, 1981, Control of plant height and flowering of zinnia by photoperiod and growth retardants. *HortScience* 16:218–220.
- Brooks dan Peter, 2006, *Metric for IT Service Management* (Jan van bon, Ed), Zaltbommel: Van Haren Publishing.
- Buck-Sorlin, G.H., 1999, *Barley Modelling and Simulation (Virtual Barley)*. WWW-document (<http://mansfeld.ipk-gatersleben.de/bucksorlin/>).
- Chazda, R.L., 1985, Leaf display, canopy structure and light interception of two palm species. *Am. J. Bot.* 72: 1493-1502
- Christy T. Carter, 2010, Growth and Nutrition of Two Cultivars of *Zinnia elegans* Under Saline Conditions, *HortScience* 45(7):1058–1063.
- Chuai-Aree.S, Siripant.S dan Lursinsap.C, 2000, Animating Plant growth in L-System by Parametric functional symbols, *Proc. Of Intern. Conf. on Intelligent Technology* 2000, pp 135-143, December 13-15, University Bangkok, Thailand
- Deutsch, A., 1994, *Muster des Lebendigen: Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Braunschweig, Germany: Vieweg. Díaz-Ambrona, C.H., A.M. Tarquis & M. Inés Mínguez, 1998, Faba bean canopy modelling with a parametric open L-system: a comparison with the Monsi and Saeki model modelling. *Field Crops Research* 58: 1-13.
- Dicks, J.W. 1979. *Modes of action of growth retardants*. p.1-14. To D.R. Clifford and J.R. Lenton. Recent development in the use of plant growth retardants. The British Plant Growth Reg. Group. England.
- Dubois, D., Prade, H., 1998, *Possibility Theory*, Plenum Press, New York.
- Eneng Susilawati, 2007, *Pengaruh Komposisi Media Terhadap Perkecambahan dan Pertumbuhan Tanaman Helichrysum bracteatum dan Zinnia elegans*, Skripsi, Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor
- Engelstad, O.P., 1977, *Fertilizer Technology and Use Third Edition* (Teknologi Penggunaan Pupuk, alih bahasa Goenadi), Ed Gajah mada Press, Yogyakarta, pp 949.
- Eric M Church, S.K Semwal, 2007, *Simulating Trees using Fractals and L-System*, Departement of Computer Science, University of Colorado
- Fogel. L.J., 1999. *Intelligence Through Simulated Evolution, Forty Years of Evolutionary Programming*. New York: John Wiley & Sons.

- Frijters.D, 1978, Mechanisms of developmental integration of *Aster novae-angliae* L. and *Hieracium murorum* L. *Annals of Botany*, 42:561–575
- Frijters.D, 1978, Principles of simulation of inflorescence development. *Annals of Botany*, 42:549–560.
- Frijters.D dan Lindenmayer.A, 1974, A model for the growth and flowering of *Aster novae-angliae* on the basis of table (1,0) Lsystems. In G. Rozenberg and A. Salomaa, editors, *L Systems*, Lecture Notes in Computer Science 15, pages 24–52. Springer-Verlag, Berlin
- Frijters. D dan Lindenmayer.A,1976, Developmental descriptions of branching patterns with paracladial relationships. In A. Lindenmayer and G. Rozenberg, editors, *Automata, languages, development*, pages 57–73. North-Holland, Amsterdam, 1976.
- Gardner, Franklin P, Pearce, R. Brent, Mitchel, Roger L. 1985. *Fisiologi Tanaman Budidaya*, Jakarta, UI
- Gautier, H., R. Mech, P. Prusinkiewicz & C. Varlet-Grancher, 2000, 3D Architectural modelling of aerial photomorphogenesis in white clover (*Trifolium repens* L.) using L-systems. *Annals of Botany* 85: 359-370.
- Gould, K.S., J.P.W. Young & E.G. Cutter, 1992, L-systems analysis of compound leaf development in *Pisum sativum* L.. *Annals of Botany* 70: 189-196.
- Hashimoto. Y, Gerrard.P.A, W.Day., Tanta dan Nonami. H, 1993, *The Computerized Greenhouses, Automatic Control Application in Plant Production*, Academic Press, Inc.
- Heikki Ruskeepaa, 2009, *Mathematica Navigator*, Elsevier Inc
- Higashide, T., M. Takaichi & H. Shimaji, 2000, Modelling of cucumber growth using the L-system. *Acta Horticulturae* 519: 43-51.
- Hilam.Y.Suwandi dan T.A.Soetiarso, 1999, Efisiensi dalam penggunaan Pupuk Fosfat pada bawang putih di lahan marginal, *J Hort* V (4) 48-54
- Hirafuji.M, 1991, A plant growth model by neural networks and L-System, *Proc.9.Th IFAC Symp. Identification and System Parameter Estimation, Vol 3 Fukuoka, Japan, pp.997-1022*
- Jacob.C, 1995, *Modeling Growth with L-Systems & Mathematica*, Mathematica in Education and Research, Volume 4, No. 3
- Jacob.C, 1995, Genetic L-System Programming: Breeding and Evolving Artificial Flowers with Mathematica, *IMS '95, Computational Mechanics Pub, Southampton, UK*.
- Jacob.C, 1995, *MathEvolva – Simulierte Evolution von Entwicklungsprogrammen der Natur*, PhD dissertation , Arbeitsberichte des Instituts für mathematische Maschinen und Datenverarbeitung, Band 28, Nummer 10, Erlangen. .(In Deutch Language).

- Jacob.C, 2001, *Illustrating Evolutionary Computation with Mathematica*.Morgan Kaufmann Publishers, San Fancisco.
- Janssen.J.M dan Lindenmayer.A.,1987, Models for the control of branch positions and flowering sequences of capitula in *Myelismuralis* (L.) Dumont (Compositae). *New Phytologist*, 105:191–220.
- Kaitaniemi, P., J.S. Hanan & P.M. Room, 2000, *Virtual sorghum: visualisation of partitioning and morphogenesis*. Computers and Electronics in Agriculture 28: 195-205.
- Karwowski.R dan Prusinkiewics.P, 2006, The L-System based plant modeling environment L-Studio 4.0. In *Proceeding of the 4th International Workshop on Functional Structural Plant Models*, pp. 403-405
- Koza, J. R., 1989, *Hierarchical genetic algorithms operating on populations of computer programs*. In 1 lth International Joint Conference on Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Koza, J. R., 1990, *Genetic programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems*. Technical report. Stanford, CA: Department of Computer Science, Stanford University.
- Koza, J. R., 1992, *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Koza, J. R, 1993, *Discovery of rewrite rules in Lindenmayer systems and state transition rules in cellular automata via genetic programming*. In SPF-93, Symposium on Pattern Formation. Stanford, CA: Department of Computer Science, Stanford University.
- Koza, J. R, 1994, *Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Koza, J. R., D. Andre, dkk, 1999, *Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Langton, C. G., ed. ,1989, *Artificial Life*. Redwood City, CA: Addison-Wesley.
- Laurie, A.,D.C. Kiplinger and K.S. Nelson. 1958. *Commercial Flower Forcing*. SixthEd. Mc.Graw-Hill BookCo., Inc.NewYork.509p.
- Lindenmayer. A, 1968, Mathematical models for cellular interaction in development, *Parts I and II. Journal of Theoretical Biology*. 18, pp. 280-315
- Lindenmayer.A, 1984, Positional and temporal control mechanisms in inflorescence development. In P. W. Barlow and D. J. Carr, editors, *Positional controls in plant development*. University Press, Cambridge.
- Ljung L, Glad T, 1994, *Modelling of dynamic system*, Prentice Hall, New Jersey.
- Lydia Kristi, Nurhajati Ansori, 1998. Pengaruh Dosis Dan Waktu Pemberian Uniconazole Terhadap Pertumbuhan Dan PembungaanKembang Kertas (*Zinnia Elegane* Jacq.), *Buletin. Agr. Vol. XX. No.1*.

- Mech. R dan Prusinkiewics.P, 1996, Visual Model of Plants Interacting with Their Environment, Proceedings of SIGGRAPH 96. In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference series, 1996, ACM SIGGRAPH*, pp.397-410.
- Micikevicius.P, C.E Hughes, J.M Moshell, 2007, *Interactive Forest Walk Through*, Computer Graphic Forums
- Muller-Doblies.D,1987, Cautious improvement of a descriptive terminology of inflorescences. *Monocot Newsletter 4*
- Musnamar, E. I. 2004. *Pupuk Organik*. Penebar Swadaya. Jakarta.72 hal.
- Nicholson,B.E.1979.*TheOxfordBookofGardenFlowers*. Oxford-NewYork.427p.
- Niklas, K.J., 1986, *Computer-simulated Plant Evolution*, in: Scientific American, 254 (March), pp: 68-75.
- Noggle, G.R. and G.J. Fritz. 1986. *Introductory Plant Physiology*. 2 nd ed. Prentice Hall of India, New Delhi. 627p.
- Ole Kniemeyer, 2004, *Rule-Based Modeling With TheXL/GroIMP Software*, wwwuser.gwdg.de/~groimp/grogra.de/publications/gwal6_pres.pdf. diakses pada 17 Mei 2011
- Ole Kniemeyer, 2008, *Design and Implementation of a Graph Grammar Based Language for Functional-Structural Plant Modelling*, Dissertation, Technische Universität Cottbus.
- Pachepsky.L.B, M.Kaul, C.Walthall, J.Lydon, H.Hong, C.S.T Daughtry, 2004, Soybean Growth and Development Visualized With L-Systems Simulation: Effect of temperature, *International Jurnal of Biotronic Vol 33*, 31-47
- Paton, R., 1994, *Computing with Biological Metaphors*. London: Chapman & Hall.
- Pirone, P.P.1978. *Disease and Pestsof Ornamental Plants*. Fifth Ed. A Wiley-Intercience Publ. Toronto, Canada. 566p.
- Prusinkiewics.P, and Lindenmayer, 1990,*The Algoritmic Beauty of Plant*, Springer-Verlag, New York.
- Prusinkiewics.P, Jim Hanan, Mark Hammel dan Mech. R, 2003, *L-System: from the Theory to Visual Models of Plants*, Siggraph L-System and beyond, page 2.1-2.12
- Prusinkiewics.P, Mark Hammel dan Jim Hanan, 1996,*Visual Model of Plant Development*. In *Handbook Of Formal Languages*, G.Rozenberg and A.Sakloma, Eds. Springer-Verlag, Berlin
- Poerwanto, R. 2003. *Bahan Ajar Budidaya Buah-Buahan*. Program Studi Hortikultura. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Qazi Adeel Javid, Nadeem Akhtar Abbasi, Nadia Saleem, Ishfaq Ahmad Hafiz andAsiaLatif Mughal, 2005, Effect of NPK Fertilizer on Performance of Zinnia (*Zinnia elegans*) Wirlyging Shade, *International Journal Of Agriculture & Biology*, Vol. 7, No. 3.

- Robinson. D.F, 1986, A Notation For The Growth Of Inflorescences, *New Phytologist*, 103, pp. 587-596
- Room, P., J. Hanan & P. Prusinkiewicz, 1996, Virtual plants; new perspectives for ecologists, pathologists and agricultural scientists. *Trends in Plant Science, Elsevier Trends Journals 1 (1): 33-38*.
- Salminen, H., H. Saarenmaa, J. Pertunen, R. Sievänen, J. Väkevä & E. Nikinmaa, 1994. *Modelling trees using an object-oriented scheme*. Math. Comp. Model. 20 (8): 49-67.
- Sanjaya.L, 1995, Kombinasi pemupukan urea, TSP dan KCL terhadap pertumbuhan dan produksi jagung manis, , *J Hort* 5(2) pp: 74-78
- Shibusawa, S., 1992, Hierarchical modelling of a branching growth root system based on L-system. *Acta Horticulturae 319 (2): 649-664*.
- Sievänen, R., E. Nikinmaa, P. Nygren, H. Ozier-Lafontaine, J. Perttunen & H. Hakula, 2000. Components of functional-structural tree models. *Ann. For. Sci.* 57: 399-412.
- Sillion, F.X., 1995. *Hierarchical solution techniques for realistic rendering*. In: State of the Art Report - Graphicon '95 Conference, St. Petersburg, Russia.
- Siswandono, 1991, *Pemberian zat pengatur tumbuh dan pupuk NPK pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan kualitas serta kuantitas hasil salak pondoh*, Laporan Penelitian Fakultas Pertanian Universitas Gajah Mada pp 31
- Somporn.C.A , Suchada Siripant, Chidchanok Lursinsap, 2004, Animating Plant Growth in L-System By Parametric Functional Symbols, *4th International Workshop on Functional Structural Plant Models*.
- Stimart,D.P.,T.H.BoyleandV.M.Terry-lewandowski. 1987.Genetic and physiological studies of *Zinnia elegans*, *Z. angustifolia* and their interspecific Hybrids. *HortSci*.22(4):526-890.
- Sudradjat, 2007, *Mathematical Programming Models for Portfolio Selection*, editura universităţii din Bucureşti.
- Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2011, Integration of Fuzzy System into Genetic L-System Programming based plant modeling environment with mathematica, *Australian Journal of Basic and Applied*, Vol. 5(11). pp. 1760-1765
- Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2011, Integration of Artificial Neural Network into Genetic L-System Programming based plant modeling environment with mathematica, *International Journal of Academic Research*, Vol. 3. No. 6, I Part
- Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2009, Genetic Programing and L-System Method For Representing Indentification Of Plant Growth Visualization, *National Technology, Sceince, and Arts (APTECS)*, ISSN: 2086-1931

- Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2010, Hybrid Genetic L-System Method For Representing Identification Of Plant Growth Visualization, *Proceding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)*, ISBN: 978-979-18265-2-5
- Suhartono, Mochamad Hariadi & Mauridhi Hery Purnomo, 2012, Integration Fuzzy System Into Functional Structural Plant Model Based Environment Conditions, *Journal Basic Science and Technology*, ISSN: 2089-8185
- Sudjatoro,D, 1997, Upaya peningkatan produksi kedelai melalui pemupukan N,P,K di daerah transmigrasi prasi manokwari. *Irian jaya agro* 1(3) pp 32-43
- Suyantohadi.A, Alfian, Hariadi.M, Hery Purnomo.M, 2010, Plant Growth Modelling Using L-System Approach and Its Visualiztion, *Makara Seri Teknologi, Universitas Indonesia*.
- Suyantohadi.A, 2010, *Artificial life pada pemodelan pertumbuhan tanaman varietas kedelai menggunakan pendekatan intelligence*, Disertasi, Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Room.P, J.Hanan, Prusinkiewics.P, 1996, Virtual Plants ; new perspective for ecologist, pathologist and agriculture science, *Trend in Plants science, Elsevier Trend Journal*, 1: pp 33-38.
- Widjaja-Adhi.I.P.G, 1992, The use Of Chemical Fertilizier Combinatied With Organic fertilizers in Crop Production in Indonesia. *Makalah Seminar Proper use of Chemical Fertilizers Combined With organic fertilizers*, Universitas Pertanian Malaysia pp 1-32.
- Wilson, P.A. & S. Chakrabrty, 1998, *The virtual plant: a new tool for the study and management of plant diseases*. Crop Protection 17 (3): 231-239.
- Wuryaningsih, S, 1995, Pengaruh Jarak Tanam dan dosis pemupukan N terhadap pertumbuhan dan produksi bunga mawar kultivar cherry barndy, *J Hort* 5(2) pp 100-106
- Zeide, B., 1991, *Fractal geometry in forestry applications*. For. Ecol. Manag. 46: 179-188.

LAMPIRAN A

KOLEKSI DATA TANAMAN *ZINNIA* DARI LAPANGAN

Data masing-masing struktur dikumpulkan dari tanaman *zinnia* di lapangan. Struktur tanaman *zinnia* terdiri dari panjang batang, diameter batang, panjang daun, diameter daun dan diameter bunga sesuai dengan siklus hidupnya. Data struktur dan ukuran dikumpulkan secara manual dengan menggunakan penggaris dan busur derajat.

Tabel A.1 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk batang (B1,B2,B3,B4 dan B5)

Hari	Rata-rata B1	Rata-rata B2	Rata-rata B3	Rata-rata B4	Rata-rata B5
1	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,62	0,67	0,00	0,00	0,00
3	2,14	1,53	0,00	0,00	0,00
4	2,65	2,54	0,90	0,00	0,00
5	3,10	3,43	1,62	0,00	0,00
6	4,95	4,12	2,11	0,00	0,00
7	6,20	4,65	2,65	0,70	0,00
8	7,60	5,12	3,15	1,62	0,00
9	7,95	5,65	4,90	2,11	0,00
10	8,20	6,43	6,20	2,67	0,90
11	8,87	6,90	7,67	3,15	1,62
12	9,13	7,21	7,90	4,90	2,21
13	9,74	7,87	8,21	6,20	2,55
14	9,89	7,90	8,77	7,67	3,05
15	10,00	8,42	9,13	7,90	4,80
16	10,00	8,60	9,45	7,90	6,10
17	10,00	8,77	9,55	7,90	7,77
18	10,00	8,77	9,67	7,90	7,95
19	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
20	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
21	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
22	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
23	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
24	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21
25	10,00	8,77	9,67	7,90	8,21

Tabel A.2 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk panjang daun B1

Hari	Rata-rata B1 DLL	Rata-rata B1 DLW	Rata-rata B1 DRL	Rata-rata B1 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1.43	1.20	1.32	1.10
9	2.37	2.27	2.27	2.27
10	2.10	2.53	2.20	2.53
11	2.83	2.77	2.80	2.77
12	2.93	2.87	2.93	2.87
13	3.93	2.87	3.94	2.87
14	4.77	2.87	4.97	2.87
15	5.87	2.97	5.97	2.97
16	6.00	3.00	6.00	3.00
17	6.03	2.97	6.03	2.97
18	6.03	3.27	6.03	3.27
19	6.03	3.93	6.03	3.93
20	6.03	3.93	6.03	3.93
21	6.03	3.93	6.03	3.93
22	6.03	3.93	6.03	3.93
23	6.03	3.93	6.03	3.93
24	6.03	3.93	6.03	3.93
25	6.03	3.93	6.03	3.93

Tabel A.3 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B2

Hari	Rata-rata B2 DLL	Rata-rata B2 DLW	Rata-rata B2 DRL	Rata-rata B2 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	1.27	1.20	1.10	1.50
12	2.53	2.27	1.77	2.27
13	2.67	2.53	2.53	2.53
14	2.87	2.77	2.77	2.77
15	3.87	2.87	2.87	2.87
16	4.87	2.87	3.87	2.87
17	5.97	2.87	4.87	2.87
18	6.00	2.97	5.77	2.97
19	6.00	3.00	5.77	3.00

20	6.00	2.97	5.87	2.93
21	6.03	3.27	5.97	3.93
22	6.03	3.93	6.03	3.93
23	6.03	3.93	6.03	3.93
24	6.03	3.93	6.03	3.93
25	6.03	3.93	6.03	3.93

Tabel A.4 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B3

Hari	Rata-rata B3 DLL	Rata-rata B3 DLW	Rata-rata B3 DRL	Rata-rata B3 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	1.27	1.10	1.33	1.10
14	2.53	2.27	2.34	2.27
15	2.67	2.53	2.12	2.53
16	2.87	2.77	2.63	2.77
17	3.87	2.87	3.73	2.81
18	4.87	2.87	4.91	2.83
19	5.97	2.87	5.75	2.87
20	6.00	2.97	5.92	2.97
21	6.27	3.00	6.22	3.00
22	6.53	2.97	6.54	3.07
23	6.53	3.27	6.57	3.27
24	6.53	3.57	6.57	3.27
25	6.53	3.57	6.57	3.27

Tabel A.5 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B4

Hari	Rata-rata B4 DLL	Rata-rata B4 DLW	Rata-rata B4 DRL	Rata-rata B4 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00

13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	1.27	1.10	1.43	1.10
15	2.53	2.27	2.37	2.27
16	2.67	2.53	2.10	2.53
17	2.87	2.77	2.83	2.77
18	3.87	2.87	3.93	2.87
19	4.87	2.87	4.93	2.87
20	5.97	2.87	4.97	2.87
21	6.00	2.97	4.97	2.97
22	6.27	3.00	5.20	3.00
23	6.53	3.97	5.53	2.97
24	6.67	4.27	6.59	3.27
25	6.93	4.57	6.73	3.57

Tabel A.6 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk daun B5

Hari	Rata-rata B5 DLL	Rata-rata B5 DLW	Rata-rata B5 DRL	Rata-rata B5 DRW
1	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
16	1.43	1.10	1.43	1.10
17	2.37	2.27	2.37	2.27
18	2.10	2.53	2.50	2.53
19	2.83	2.77	3.83	2.77
20	3.86	2.87	3.93	2.87
21	3.93	2.87	4.93	2.87
22	4.94	2.87	4.97	2.87
23	4.97	2.97	4.97	2.97
24	5.20	3.00	5.20	3.00
25	5.63	3.00	5.53	2.97

Tabel A.7 Rata-rata dari 3 tanaman *zinnia* untuk bunga BU1

Hari	Rata-rata BU1
------	------------------

1	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.50
18	1.07
19	2.97
20	3.20
21	3.53
22	4.89
23	5.93
24	6.03
25	6.93

INDEKS

A	O
Al Qamar,	
7	P
<i>Artificial</i>	Pemodelan,
1, 3, 7, 8, , 11, 12, 14, 15, 16,	2-9, 11-18, 35, 36
17, 18, 19, 27, 81, 123-130.	Pertumbuhan,
An Nahl,	1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14,
3,	15, 16, 17, 18, 19, 27, 81, 123-130
B	
C	Q
D	R
E	
F	S
G	T
<i>Genetic</i>	
1-4, 6-9, 11, 19, 36, 86, 123-137, 165, 170,	U
H	V
I	Visualisasi,
<i>Intelligent,</i>	9, 16, 19, 34, 47, 87, 97, 95,
1, 3, 7, 8, , 11, 12, 14, 15, 16,	W
17, 18, 19, 27, 81, 123-130.	X
J	
K	Y
L	Yunus
<i>L-System</i>	6.
1-4, 6-9, 11, 19, 36, 86, 123-137, 165, 170.	Z
M	
N	

ILUSTRASI PEMODELAN PERTUMBUHAN TANAMAN BERBASIS LINGKUNGAN

PENDEKATAN JARINGAN SARAF TIRUAN

Pemodelan dan simulasi tanaman zinnia adalah permasalahan yang diketengahkan penulis dalam buku ini. Dalam hal ini, Model dapat didefinisikan sebagai representasi sistem dalam kehidupan nyata yang menjadi fokus penelitian atau pokok permasalahan. Model diupayakan sama, atau hampir sama, dengan sistem yang direpresentasikannya. Sedangkan Pemodelan adalah Proses memproduksi atau menghasilkan model. Salah satu tujuan dari pemodelan adalah memungkinkan analisis untuk memprediksi pengaruh perubahan pada sistem yang sedang diamati.

Pemodelan pertumbuhan tanaman zinnia adalah pokok permasalahan yang disampaikan oleh penulis. Secara morfologi, pertumbuhan tanaman adalah perkembangan organ-organ tanaman. Pertumbuhan tanaman dapat ditunjukkan oleh penambahan tinggi tanaman, panjang batang, diameter batang, lebar daun, panjang daun dan diameter bunga.

Cepat atau lambatnya pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor internal tanaman tersebut, dalam hal ini faktor genetik, dan faktor lingkungan. Demikian pula halnya pertumbuhan tanaman zinnia. Pentingnya faktor genetika tanaman zinnia dapat dilihat pada meningkatnya hasil panen dari penanaman zinnia varietas unggul. Tanaman juga memberikan respon yang berbeda terhadap perubahan lingkungan, dalam hal ini pemberian pupuk. Ekspresi potensial genetik tanaman dapat terlihat pada pemberian pupuk dengan komposisi yang bervariasi.

Penulis menggunakan metode L-System, atau Lindenmayer System, untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman berdasarkan keadaan lingkungan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Aristid Lindenmayer untuk menjelaskan teori pertumbuhan sel anabaena catenula. Metode ini menggunakan sistem penulisan berulang (rewriting system) dengan menggunakan aturan gramatikal. Dewasa ini, metode ini sudah banyak dipergunakan oleh ilmuwan untuk memodelkan bermacam-macam jenis tanaman.

Kelebihan dari penulis buku ini, yang merupakan nilai plus dibandingkan lainnya, adalah penulis mengkombinasikan pemodelan zinnia dengan menggunakan metode L-system dan kecerdasan buatan / Artificial Intelligent. Penulis mengintegrasikan metode L-system, metode Jaringan Syaraf Tiruan / Artificial Neural Networks dan metoda Fuzzy System untuk memodelkan pertumbuhan tanaman zinnia.

Buku ini sangat cocok untuk para ilmuwan dan praktisi, terutama yang memiliki latar belakang ilmu biologi, ilmu pertanian ataupun ilmu komputer. Buku ini mengkombinasikan ilmu pertanian dan ilmu komputer. Dengan membaca buku ini, teknologi pemodelan tanaman diharapkan dapat membantu petani dan pemerintah dalam ruang lingkup yang lebih luas, dalam meningkatkan produksi pertanian.

Ali Mahmudi, B.Eng (Hons), PhD
Alumni Huddersfield University, United Kingdom
Dosen Tetap Teknik Informatika IIN Malang



UIN-MALIKI PRESS

Jl. Gajayana 50 Malang 65144 Telp. / Fax. 0341-673225
e-mail : admin@uinmalikiexpress.com, <http://uinmalikiexpress.com>

ISBN 978-602-3370-74-4

